



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“ALGORITMO PARA LA REDUCCIÓN DE LA OSCILACIÓN EN UN
BRAZO MECÁNICO PLANO DE ESLABONES FLEXIBLES”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO

AUTOR:

Rodas Lavado, Yuri Alexander

ASESOR:

Ing. Felipe Eduardo De la Rosa Bocanegra

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y simulación de sistemas electromecánicos

TRUJILLO – PERU

2019

PAGINAS PRELIMINARES

“ALGORITMO PARA LA REDUCCIÓN DE LA OSCILACIÓN EN UN BRAZO MECÁNICO PLANO DE ESLABONES FLEXIBLES”

Yuri Alexander Rodas Lavado
Autor

Presentada a la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad César Vallejo para obtener el Título de Ingeniero Mecánico.

Dr. Jorge Adrián Salas Ruiz
(Presidente)

Ing. Jorge Antonio inciso Vásquez
(Secretario)

Dr. Felipe de la Rosa Bocanegra
(Vocal y Asesor especialista)

DEDICATORIA

La presente investigación la dedico principalmente a Dios, por darme fuerza para continuar con este proceso, siendo uno de mis anhelos más deseados.

A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos, y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra manera me acompañan en todas mis metas.

Asimismo, esta investigación se la dedico a mis padres Rafael y Perpetua, pilares fundamentales en mi vida que, con mucho amor y cariño, brindo todo mi esfuerzo en reconocimiento a todo el sacrificio puesto para que yo pueda culminar mis estudios. De igual manera a mi tía Janeth por siempre cuidarme desde pequeño y ser el apoyo incondicional de mis padres. También, a mi hermano Dennis, por ser un ejemplo a seguir como profesional y ser perseverante para lograr cada objetivo. Finalmente, a mi hermana Salomé por enseñarme que la responsabilidad y puntualidad son fundamentales para lograr muchas cosas. A todos ellos gracias por mantener en mí viva la esperanza, este triunfo también es de ustedes.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a todos mis docentes de la Escuela de Ingeniería Mecánica, los cuales me brindaron los conocimientos necesarios durante los estudios universitarios, aprobando todas las materias satisfactoriamente.

Agradezco también a mis amigos de la carrera, por aprender de cada uno de ellos diferentes valores, así como también liderar y trabajar en equipo.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Dr. Felipe de la Rosa Bocanegra, por ser el principal colaborador durante este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de esta investigación.

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Yo, Yuri Alexander Rodas Lavado con DNI N° 71284214, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela académico profesional de Ingeniería Mecánica, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento y omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, 15 de agosto del 2019

Yuri Alexander Rodas Lavado

Autor

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la Tesis titulada “Algoritmo para la reducción de la oscilación en un brazo mecánico plano de eslabones flexibles”, la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de Ingeniero Mecánico.

El Autor

INDICE

PAGINAS PRELIMINARES	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DECLARACION DE AUTENTICIDAD	iv
PRESENTACIÓN	v
INDICE	vi
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Justificación.....	3
1.3. Teorías relacionadas al tema	3
1.3.1. Modelamiento cinemático del brazo	3
1.3.2. Modelamiento dinámico de un brazo.....	4
1.3.3. Método de Lagrange.....	4
1.3.4. Líneas Diversificadas.....	5
1.3.5. Control de espacio de estados: La Conjetura de Dominio Actual - Estado con Espacios	5
1.3.6. Fórmulas de la Dimensión de Estados	7
1.3.7. Brazos Robóticos.....	10
1.3.8. Categorización de robots.....	11
1.3.9. Configuración de robots manufactureros.....	12
1.3.10. Cibernética	13
1.3.11. Modelado numérico	13
1.3.12. Etapas de formar un prototipo	14
1.3.13. Estrategias de dominio	15
1.3.14. Dominio PID (Proporcional Integrador Derivativo).....	16
1.3.15. Dominio Inmejorable.....	16
1.3.16. Dimensión de disposición.....	18
1.3.17. Disposición en un sistema activo	18
1.3.18. Variante de disposición	18

1.3.19.	Segmento de disposición.....	19
1.4.	Problema.....	20
1.5.	Objetivos.....	20
1.5.1.	General.....	20
1.5.2.	Específicos.....	20
II.	MARCO METODOLOGICO	21
2.1.	Hipótesis	21
2.2.	Variables	21
2.3.	Operacionalización de variables	21
2.4.	Algoritmo	23
2.5.	Tipo de estudio	26
2.6.	Diseño	26
2.7.	Población, Muestra y Muestreo.....	26
2.8.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	26
2.9.	Métodos de análisis de datos.....	26
III.	RESULTADOS	27
3.1.	Modelo del manipulador.....	27
3.2.	Modelo Dinámico	29
3.3.	La ecuación de movimiento:	32
3.4.	Procedimiento para la posición	37
3.5.	Simulación en el Caso I:.....	42
3.6.	Simulación en el Caso II:.....	43
IV.	DISCUSIÓN	44
V.	CONCLUSIONES.....	46
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
VIII.	ANEXOS	50

RESUMEN

Esta investigación nos brinda resultados para mejorar una perspectiva del dominio de un brazo mecánico plano el cual cuenta de eslabones donde la unión principal es ejecutada por una fuerza. El modelo dinámico del brazo que es obtenido por el medio del método de Lagrange, en cual se determinarán los ángulos de deflexión en la primera y segunda articulación, obteniendo luego sus posicionamientos.

Para los modelos de las articulaciones se halla la energía cinética y potencial, se expresa la disipación de la energía la cual cuenta con constantes de amortiguamiento, también se identifican un conjunto de coordenadas específicas. Aplicando una relación de Lagrange con procedimientos de energías entrantes (torsión) y energías dispersivas se obtiene una ecuación de movimiento, la cual está detallada en forma matricial, calculando cada valor dentro de la matriz de inercia.

Luego el sistema de eslabones flexibles se expresa por su forma de espacio de estado, con el propósito de acelerar la articulación activa, teniendo una nueva entrada. Finalmente, para obtener una solución cercana al control óptimo se aplica un algoritmo de la base de Fourier, con variables de posición y entradas en el sistema. Luego de ello se aplica una función de desempeño para que esta sea minimizada con las matrices de peso, matrices diagonales, y su posición final deseada.

Palabras claves: Manipulador mecánico, Articulación actuada, Método de Lagrange, Control óptimo, Algoritmo de Fourier, Eslabones flexibles.

ABSTRACT

This research gives us results to improve a domain perspective of a flat mechanical arm which counts of links where the main union is executed by a force. The arm dynamic model which is obtained by the method of Lagrange, in which the deflection angles determined in the first and second hinge, then obtaining positioning.

For the joint models kinetic and potential energy is the energy dissipation which has damping constant is expressed, a specific set of coordinates are also identified. Applying a Lagrange relationship with procedures of incoming energies (torsion) and dispersive energies an equation of motion, which is detailed in matrix formal, calculating each value within the inertia matrix is obtained.

Then the system flexible links is expressed in form of state space, in order to accelerate the active joint, taking a new post. Finally, to get a close solution to the optimal control algorithm based on Fourier, with input variables in position and applies the system. After that performance function for this is minimized with weight matrices, diagonal matrices, and applies desired final position.

Keywords: *Mechanical manipulator, Actuated joints, Lagrange method, Optimal control, Fourier algorithm, flexible links.*

I. INTRODUCCIÓN

Los brazos robóticos y manipuladores han sido ampliamente utilizados en líneas de ensamblaje de distintas industrias. En algunos casos es necesario que estos brazos tengan un peso reducido, por lo que muchas veces los eslabones no están provistos de una rigidez suficiente y presentan una flexibilidad que no puede ser despreciada cuando se modela y se controla uno de estos mecanismos. La principal consecuencia de la flexibilidad de los eslabones es que ésta induce vibraciones que, acumuladas al final del movimiento, producen un efecto de falta de precisión que puede llevar a producir grandes errores en la labor que desarrollan estos artefactos (Unal, 2012).

En el presente, las máquinas mecánicas artificiales nos proponen una amplia capacidad dentro de las líneas industriales, puesto que se encuentran con incesantes notificaciones instaladas en los mecanismos que interactúan entre sí, estos autorizan dar seguimiento ininterrumpido por las labores que hacen las máquinas por 24 horas a lo largo del día, convirtiéndolos en gran medida para la protección y garantizando confianza al personal que los utilicen. Diversos de estos equipos con inteligencia artificial pueden llegar a encontrar errores en otros mecanismos, llegando a controlar las líneas industriales por si se presenta algún inconveniente. (La robótica, 2011)

En Perú existen pocas industrias que trabajan con robots, en la ciudad de Trujillo este desarrollo se ha implementado en sus líneas de producción en la corporación Lindley S.A., pretenden ampliar la cantidad de producción a la vez mejorar el estado de las plantas distribuidoras, debido a la alta demanda de los distintos productos elaborados por la empresa, esta misma viene siendo cubierta por su planificación de ampliar su producción iniciada en el 2009 y continuará. En la actualidad cuentan con diferentes plantas en el litoral norteño, centro y sur del país, todos estos pertenecientes a la corporación. Posteriormente también aplicarán este método las empresas del sector agroindustrial ya que éstas exportan. Las tendencias pronostican que para el 2020 se verá aumentado significativamente el uso de robots en diferentes ramas. De igual manera sucederá en las industrias que existen en el interior del país. (Arca Continental Lindley, 2015)

1.1. Antecedentes

De Luca y Panzieri (1993), resolvieron el problema de regulación en un manipulador por medio de la estrategia de control PD, identificando las uniones flexibles o elásticas, en este se realizó una retroalimentación del sistema para ver si se produjeron errores. Luego se aplicó propiedades para su modelado el cual realizaron resultados experimentales para la flexibilidad de un robot flexible. Se simuló y evaluaron los resultados experimentales con diferentes parámetros.

Salomón Abdalá y R. Ñeco (2003), realizaron un modelado exacto acerca de una máquina inteligente artificial SCORBOT-ER plus, basado en el tiempo y las causas de su movimiento, se simuló la operación y comportamiento del robot, mediante programas para adquirir datos experimentales. En los resultados se realizó una comparación en los modelos directo e inverso comprobándolo mediante un software.

Nakamura y otros (2009), Desarrollaron un modelo mecánico del sistema, el proceso para este diseño se realizó en tres partes: interfaz, controlador, e interfaz de potencia. Parte de la implementación se realizó por el lenguaje programable de visual C. Los resultados del modelo matemático cumplieron todos los requerimientos dados, y se determinaron las ventajas y desventajas según donde se encuentre ubicada su posición.

Sorcía - Vásquez y otros (2010), realizó Análisis de dos esquemas de control PID y control sin modelo (guía de su trayectoria) aplicadas un brazo robot de un grado de libertad. Utilizaron técnicas en los esquemas como GPID este requiere el conocimiento del sistema, se halla con una parametrización de entrada de control de función con sus variables derivadas y CSM este realiza un reconocimiento del sistema a partir de las derivadas de salida y de control. Ambos se realizaron en un tiempo real, los resultados que ambos esquemas resuelven problemas respecto a la trayectoria del brazo, y se detalla el alcance de cada una obteniéndose resultados aproximados a los que las simulaciones arrojaron.

1.2. Justificación

Esta investigación se justifica en el aspecto científico porque desarrolla un nuevo conocimiento sobre las estrategias sobre ver una respuesta dinámica del sistema, porque hay pocos estudios en el medio para control de brazos. Mediante métodos propuestos como control PID, control optimo y redes neuronales. El sistema tiene un peso reducido, que está sujeto a oscilaciones, por lo que se utilizará menos energía. Una vez obtenidos los resultados se puede aplicar a problemas de brazos robóticos en líneas de producción o de ensamblaje, también puede usarse en reemplazar a personal en tareas peligrosas.

Con la finalidad de resolver este problema, esta investigación plantea aplicar estrategias de dominio aumentando la función para el desempeño, y contar con la eficacia del controlador. Ya que este sistema cuenta con un motor.

El modelo del brazo, obtenido mediante el método de Lagrange y representado en el espacio de estados, será sujeto a simulaciones mediante el software de programación Matlab para obtener el ingreso de control perfecto requerido.

El control deberá conseguir posicionar el extremo (efector) del brazo y simultáneamente reducir la oscilación de cada uno de los dos eslabones, de manera que el error final sea mínimo.

1.3. Teorías relacionadas al tema

1.3.1. Modelamiento cinemático del brazo

Detalla el análisis del trayecto basado en el tiempo de una máquina artificial, se relaciona con una formación metódica acerca del desplazamiento del equipo a razón de una metodología en el plano como mención estable sin tomar en cuenta los esfuerzos o momentos para crear el desplazamiento. De esta manera, esta teoría se enfoca en la reseña metódica del movimiento del equipo en representación del tiempo, las conexiones a través del posicionamiento de las variantes de sus enlaces y la situación del desenlace con su resultado de la articulación de la máquina. Este trayecto del equipo analiza el desplazamiento distinto a razón de sus coordenadas articulares. (Robótica, 2010)

1.3.2. Modelamiento dinámico de un brazo

Detalla el cambio del estado de desplazamiento de un equipo artificial, enlazándolo con esfuerzos participes semejantes. Este modelamiento determina vínculos con cálculos exactos en medio del plano modular (éstas coordenadas se ubican en la extremidad de la máquina), la derivación de la celeridad y rapidez, los esfuerzos y otras cargas en los prototipos (extremidades) y los indicadores de la máquina artificial (volumen de los enlaces, momentos de inacción, etc.) (Alvarado, 2010)

No obstante, las fórmulas de desplazamiento son similares, en otros términos, metódicos o con repetición indefinida, los diversos planes acatan sus propósitos que puedan alcanzar. En otra circunstancia se requieren resolver la incógnita en una máquina artificial para poder obtener que permitan resolver rápidamente y sean evaluadas ambos esfuerzos de los enlaces que dominan al controlador, en otra instancia se requiere metodologías que sean simples para el estudio y reducción del dominio. (Robots, 2012)

1.3.3. Método de Lagrange

Para formular el modelo del sistema mecánico del brazo, con el fin de facilitar y simplificar la obtención de las ecuaciones, se usará la teoría de la mecánica analítica, donde la ecuación de Lagrange está dado por:

$$L = T - U \quad (1)$$

Dónde:

L: Langrangiano

T: Energía cinética

U: Energía potencial

Las ecuaciones se hallan aplicando:

$$f_i = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} + \frac{\partial D}{\partial \dot{q}_i} \quad (2)$$

Dónde:

f: Son las fuerzas externas al sistema (En el movimiento del brazo y el torque en cada articulación).

q: Son las coordenadas generalizadas θ_1 y θ_2 (Ángulos de rotación de los eslabones y ángulos de deflexión del brazo)

t: Tiempo

L: Langrangiano

D: Disipación en el sistema

1.3.4. Líneas Diversificadas

Es un grupo de variantes, el cual es conocido su dimensión, y que puede hallar el posicionamiento absoluto de todas las porciones de un medio, por ello, el posicionamiento y la ubicación de la masa resistente. Un conjunto de líneas diversificadas se indica integro si nos puede resolver eficazmente, detallando sin confusiones, el posicionamiento en general de un método. Este mismo conjunto se le llama autosuficiente si sus líneas diversificadas no cuentan con correlación entre estas mismas. (De la Rosa F. , 2009)

1.3.5. Control de espacio de estados: La Conjetura de Dominio Actual - Estado con Espacios

El medio actual complicado cuenta con varios accesos y varios escapes los cuales se vinculan hacia ellos mismos de manera compleja. Si realizamos un estudio orientado a este modelo, necesariamente se tiene que disminuir la dificultad de sus variables con ciencias exactas, aparte de esta modalidad de cálculo debemos contar con un computador que pueda efectuar ampliamente la complejidad de las variables en nuestro estudio. El planteamiento de la representación de espacios será necesario los estudios de los medios de crecimiento eficaz de diferente perspectiva. (De la Rosa F. , 2009)

La modernidad provoca una tendencia de los sistemas de ingeniería hacia una dificultad mayor, en parte provocado por una demanda de labores muy complicados y de alta precisión. La complejidad en los sistemas se observa en las entradas y salidas múltiples de éstos y a su variación en el tiempo. Puesto a que la exigencia que se pretende lograr los

requerimientos son más limitados de los sistemas de dominio, al aumento de la dificultad del sistema y una entrada más sencilla al computador de gran medida, alrededor de los años de 1960 han crecido las teorías de dominio actual; el cual es un reciente planteamiento de estudio y el diseño de métodos de dominio complicados. La nueva perspectiva está basada a la concepción de la disposición, el cual no es tan reciente, puesto que ha permanecido por varios años en el campo de los sistemas físicos. (García D. , 2008)

La teoría del dominio actual la comparan con la teoría de dominio común, donde el dominio actual se ejerce por medio de sistemas entrantes y salientes de formas múltiples, los cuales son continuos o no continuos, en cambio el dominio común sólo se ejerce en sistemas continuos un entrante y un saliente invariables en el tiempo. De igual modo la teoría de dominio actual es fundamental desde el punto de vista para el control del tiempo, por consiguiente, la teoría de dominio común trae consigo un planteamiento complicado en el control de la frecuencia. (Garcia D. , 2008)

En tanto que la suposición del dominio usual se justifica con el vínculo entrante – saliente, o también un modelado matemático con un cociente con resultado de un método con un indicio de entrante, la suposición de dominio actual consta de describir unas fórmulas con el procedimiento con terminología en n fórmulas distintivas de superior precepto, se unen en la fórmula distintiva con matriz de superior precepto. Al utilizar los signos en la matriz facilita inmensamente la función de cálculo de los procedimientos de fórmulas. El aumento en la proporción de variante de disposición, entrantes o salientes no amplía la dificultad de sus fórmulas. En este caso, las comparaciones de los métodos son difíciles con entrantes y salientes compuestas el cual se ejecuta por medio de técnicas Únicamente la dificultad de solicitar el estudio de métodos de sus fórmulas distintivas de superior precepto (Goyago C. , 2008)

1.3.6. Fórmulas de la Dimensión de Estados

El estudio de la dimensión de estados, se agrupan en tres ejemplos de variantes implicados en los modelos de sistemas activos: variantes entrantes, variantes salientes y variantes de disposición. No es exclusiva interpretar en la dimensión de estados que posee un sistema preciso o definido, salvo que proporción de variantes de disposición donde es idéntico a alguna función en la dimensión de disposición de igual sistema. (De la Rosa F. , 2009)

Un sistema activo integra componentes que recuerden las capacidades de ingreso para “ $t \geq t_1$ ”. Debido a que las composiciones de un sistema de dominio en tiempo constante ejecutan un almacenamiento de memoria, donde las variantes salientes de los integrados se desempeñan como variantes de disposición. La medida de variantes de disposición requeridas para determinar íntegramente la actividad del sistema es equivalente al integrado que abarca el método. (De la Rosa F. , 2009)

Deduzcamos que uno de estos métodos tiene entrantes y salientes variados que abarcan “ n ” términos. A la vez que se encuentren “ r ” ingresos “ $u_1, u_2(t), \dots, u_r(t)$ ” y “ m ” salidas “ $y_1(t), y_2(t), \dots, y_m(t)$ ”. Determinar “ n ” salientes al agregar como variantes de disposición: “ $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$ ”. Posteriormente la metodología se detalla por medio de:

$$\begin{aligned}\dot{x}_1(t) &= f_1(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r; t) \\ \dot{x}_2(t) &= f_2(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r; t) \\ &\cdot \\ &\cdot \\ &\cdot \\ \dot{x}_n(t) &= f_n(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r; t)\end{aligned}\tag{3}$$

Los salientes “ $y_1(t), y_2(t), \dots, y_m(t)$ ” del método se halla de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 y_1(t) &= g_1(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r; t) \\
 y_2(t) &= g_2(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r; t) \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 y_m(t) &= f_m(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r; t)
 \end{aligned} \tag{4}$$

Si definimos

$$x(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ \vdots \\ x_n(t) \end{bmatrix} \tag{5}$$

$$f(x, u, t) = \begin{bmatrix} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r; t) \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r; t) \\ \vdots \\ f_n(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r; t) \end{bmatrix} \tag{6}$$

$$y(t) = \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ \vdots \\ y_m(t) \end{bmatrix} \tag{7}$$

$$g(x, u, t) = \begin{bmatrix} g_1(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r; t) \\ g_2(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r; t) \\ \vdots \\ g_m(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r; t) \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$u(t) = \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \\ \vdots \\ u_m(t) \end{bmatrix} \quad (9)$$

Las ecuaciones (3) y (4) se calcula, llegando a convertirse en:

$$\dot{x}(t) = f(x, u, t) \quad (10)$$

$$y(t) = g(x, u, t) \quad (11)$$

En el cual la fórmula (10) es la fórmula de condición y la fórmula (11) es la fórmula saliente. De la representación de una entidad matemática ya sea recta o plano f y/o g implican claramente el período t, el procedimiento se le llama método de distinción con el intervalo.

Si se aproxima linealmente las fórmulas (10) y (11) en torno a la condición de ejecución, teniendo subsecuentemente las fórmulas de condición y salientes aproximadas linealmente:

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t) \quad (12)$$

$$y(t) = C(t)x(t) + D(t)u(t) \quad (13)$$

En el que A(t) se le llama arreglo bidimensional de disposición, B(t) arreglo bidimensional entrante, C(t) arreglo bidimensional saliente y D(t) arreglo bidimensional de transferencia recta. Un esquema de agrupación que simboliza y se encuentra ambas fórmulas mostradas en la **Figura01**.

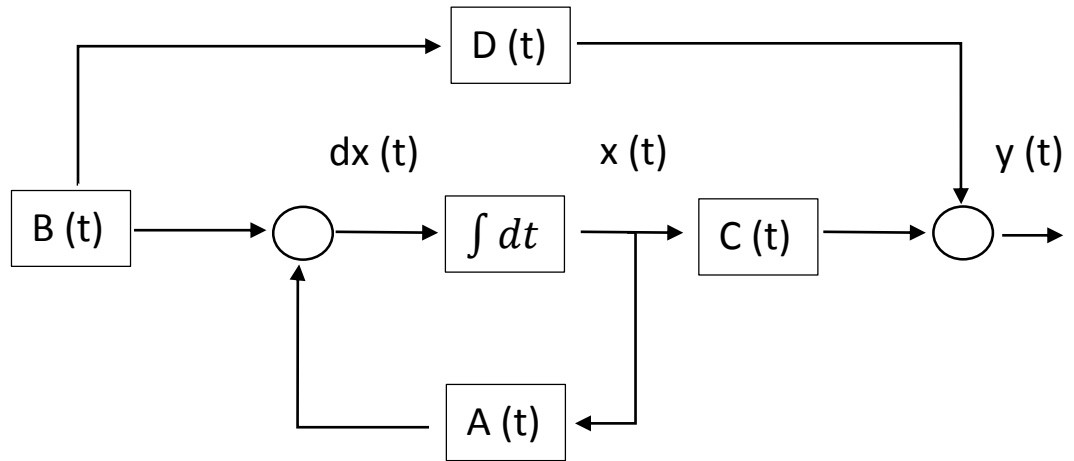


Figura 01: Esquema de agrupación del método de dominio en el espacio de disposición.

Las representaciones por entes matemáticos rectos o planos f y g no comprometen el período de t claramente, el método se le nombra como procedimiento invariable con el período. En consecuencia, las fórmulas (12) y (13) se reducen a:

$$\dot{x}(t) = A x(t) + B u(t) \quad (14)$$

$$y(t) = C x(t) + D u(t) \quad (15)$$






La fórmula (14) es la fórmula del método rectilíneo e invariable con el período y la fórmula (15) es la fórmula saliente hacia el idéntico método.

1.3.7. Brazos Robóticos

Estas máquinas artificiales son similares a los seres humanos y realiza labores complicados como, por ejemplo, caminar o conversar. Estos mecanismos progresan acorde al tiempo, ejerciendo de forma espontánea distintas labores de alta precisión y dificultad reiterativamente, dirigido por dominio mecánico. Por esta razón, hoy en día es común agregar algún calificativo a la palabra máquina artificial inteligente, que acceda demarcar con más rasgos distintivos o espacios de utilización. De forma que se podría decir, máquinas inteligentes humanoides, para controlar maquinaria, laborar en casa, simulador en vuelos o navegando, etc. (Conde, 2012)

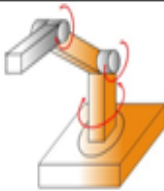
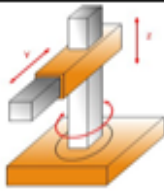
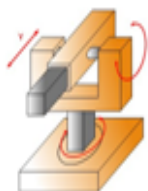
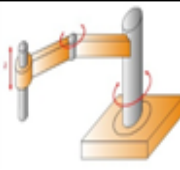
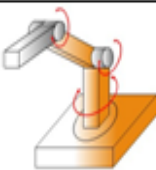
1.3.8. Categorización de robots

Considerando su apariencia corporal y funcionamiento, se dividen de la posterior forma:

Nombre	Figura	Descripción
Robot Playback		Los cuales regeneran una secuencia de instrucciones grabadas, como un robot utilizado en recubrimiento por spray o soldadura por arco. Estos robots comúnmente tienen un control de lazo abierto.
Robots controlados por sensores		Estos tienen un control en lazo cerrado de movimientos manipulados, y hacen decisiones basadas en datos obtenidos por sensores.
Robots controlados por visión		Donde los robots pueden manipular un objeto al utilizar información desde un sistema de visión.
Robots controlados adaptablemente		Donde los robots pueden automáticamente reprogramar sus acciones sobre la base de los datos obtenidos por los sensores.
Robots con Inteligencia Artificial		Donde los robots utilizan las técnicas de inteligencia artificial para hacer sus propias decisiones y resolver problemas.

1.3.9. Configuración de robots manufactureros

Son los que conforman una amplia escala de proporciones y estructuración. La estructuración tiene relación con la conformación física de nuestras articulaciones. Tenemos estas configuraciones a continuación:

Nombre	Figura	Características	Aplicaciones
Robot Cartesiano		Utiliza tres dispositivos deslizantes perpendiculares entre sí, para generar movimientos de acuerdo a los tres ejes cartesianos X, Y y Z.	<ul style="list-style-type: none"> • Control numérico. • Máquinas de fresado o dibujo. • Plotter.
Robot Cilíndrico		Se basa en una columna vertical que gira sobre la base. También tiene dos dispositivos deslizantes que pueden generar movimientos sobre los ejes Z e Y.	<ul style="list-style-type: none"> • Soldadura. • Traslado de material con alta precisión. • Montaje • Traslado de material punto a punto desde una posición central.
Robot esférico o Polar		Utiliza un brazo telescópico que puede bascular en torno a un eje horizontal. Este eje telescópico está montado sobre una base giratoria. Las articulaciones proporcionan al robot la capacidad de desplazar el brazo en una zona esférica.	<ul style="list-style-type: none"> • Manipulación en máquinas herramientas. • Soldadura por punto. • Fundición a presión • Soldadura por gas y por arco.
Robot de brazo articulado		Se trata de una columna que gira sobre la base. El brazo contiene una articulación, pero sólo puede realizar movimientos en un plano. En el extremo del brazo contiene un eje deslizante que se desplaza en el eje Z. El robot más común de este tipo se conoce como robot SCARA.	<ul style="list-style-type: none"> • Operaciones de ensamblaje. • Pintado en spray. • Máquinas de desbarbado. • Fundición a presión.
Robot antropomórfico		Está constituido por dos componentes rectos que simulan el brazo o antebrazo humano, sobre una columna giratoria. Estos antebrazos están conectados mediante articulaciones que se asemejan al hombro y al codo.	<ul style="list-style-type: none"> • Exoesqueletos. • Teleoperación. • Máquinas de desbarbado. • Fundición.

1.3.10. Cibernética

Ha evolucionado de manera considerable dentro de la humanidad y su crecimiento posterior. En consecuencia, esta tecnología ocupa un amplio espacio en el estudio científico, y las utilidades han superado las delimitaciones que tienen los rubros industriales, espacios sumergibles u órbita terrestre, con el fin que se aproximen a los humanos como resultado de distracción, asistencia en lugares con espectadores. Generalmente tiene procedencia acción y captación, planificación del dominio, industrialización y utilización de máquinas inteligentes artificialmente, apoyada por campos de análisis variados como la ciencia, psicología, matemáticas, etc. (De la Rosa F. , 2009)

Un mecanismo de una máquina artificial generalmente es un refinado y singular aparato mecánico que es manipulado espontáneamente con libertad de ejercer tareas anticipadas que incorporan utilización, traslación y comunicación, incorporando juntamente suficiencia para solucionar problemas usuales y otros de gran complejidad, asimismo contiene forma independiente la toma de alguna decisión. De estas afirmaciones, consideramos que el control es importante cuando utilizamos estos prototipos y algún otro mecanismo electrónico en común, puesto que el sistema de dominio tendría que ser superior en términos para su excelente rendimiento, exactitud en su desplazamiento, etc. Con la finalidad de trabajar siendo útiles y eficaces. (De la Rosa F. , 2009)

1.3.11. Modelado numérico

Es uno de los modelos verificados que requieran manifestar vínculos, propuestas fundamentales con variantes, indicadores, parámetros y relación con sus operaciones, para analizar los comportamientos de métodos complicados en presencia de situaciones complejas de estudiar en el presente. La demarcación de modelado precisos, también se usan en representaciones que denotan modelos exactos de elementos en dos o tres dimensiones. (Ríos S. , 2013)

1.3.12. Etapas de formar un prototipo

En numerosas ocasiones la construcción o crear prototipos algorítmicos apropiados que acompañan una secuencia de etapas bien definidas:

- a) **Identificación** de un estado o duda complicada que precisa ser inexacto, mejorado o dominado, por esta razón solicitaría un prototipo algorítmico.
- b) **Alternativa de prototipo**, determina que solución o salida deseamos obtener, que valores de entrada o elementos destacados y que pide a utilizar según el prototipo. Esta alternativa debe estar adecuadamente sencilla como para aprobar un método calculado accesible con los requerimientos útiles. En ese aspecto necesitará reconocer una mayor cantidad de información veraz y catalogar las preguntas con sus variantes independientes y dependientes, determinando consideraciones, físicas, químicas, geométricas, etc. Que interpretan correctamente el fenómeno en su análisis. (Sixto, 1995)
- c) **Determinación del prototipo** donde se especificará como ingresan los datos, que modelo de cálculo utilizará, o se adecuen a los datos actuales. Asimismo, insertar la elaboración de algoritmos, juntar documentaciones informáticas, etc. En esta etapa permitan reducir la incógnita del algoritmo sea accesible computacionalmente. (José J. , 2015)
- d) **Comparación de soluciones** las soluciones alcanzadas como un pronóstico precisan tener una igualdad casos estudiados acorde el prototipo que están desarrollando correctamente. Si esta solución no se adapta bien, usualmente se retoma la fase inicial.

Es fundamental recordar que la gran mayoría de prototipos elaborados no son precisos ya que cuentan con alto nivel de concepción y reducirlo de una manera simple, porque una configuración más precisa suele ser más compleja de usar una simplificación adecuada, por esta razón llegando a ser menos conveniente. Cabe resaltar el instrumento con el cual se explica la modelación de un prototipo afecta al crecimiento de más métodos sencillo de comprender proyectados al ámbito sociocultural. (Pinkipay, 2014)

1.3.13. Estrategias de dominio

Establece la estructuración o entorno que permite informar o señalar al vínculo.

Dependiendo de

Su utilización (ambiente laboral, equipos) a manejar, se tiene que precisar el desempeño de las variantes de desarrollo (tensión, flujo, variación de temperatura, entre otros factores). (Villalobos, 2015)

El trabajo de su aplicación es que se agregarán herramientas y/o equipos, sino que además permiten brindar consistencia en el software o sistema. Estas herramientas y/o equipos pueden contar con diversos sensores, controladores, etc. Organizados en un contorno particular definido por el encargado del desarrollo. Por esta razón cada marco tiene su dirección constituida. Por ejemplo, la planificación de dominio propio, se pueden definir como:

- a) **Control realimentado:** El manejo más frecuente, se calcula en la parte saliente del vínculo o contorno y en seguida se ejecuta encima del instrumento saliente.
- b) **Dominio por actuadores en paralelo:** Al conseguir prontamente la estimación de set-point; se unen diferentes mecanismos de salida (servomotores).
- c) **Dominio por correlación o razón de flujos:** Al ejecutar conjuntos iguales a través de ciertos productos, se establece una medición en medio de los productos controlador frecuente. Lo ideal son 2 sensores y un servomotor. (Espinoza, 2013)
- d) **Controladores continuos o cascada:** Cuenta con un controlador de variante primario y otro secundario, cuyo plan particular es estudiar y perfeccionar la dinámica de su variante utilizada el cual es muy inseguro, diferente a la variante principal. (Trigo M. , 2015)
- e) **Dominio selectivo:** Permiten estabilidad de la distribución de contorno y para el productor. Planteamiento para aplicar intervalos en las variantes.

f) **Dominio antepuesto:** Permite calcular una o más variantes de ingreso en la vinculación y el desempeño antecedentes que pueden ser hallados por la labor del servomotor. Se señala que su habilidad se puede acomodar a una variante al momento de ejecutar el procedimiento y pueda ser razonable. (Chicaiza P. , 2018)

1.3.14. Dominio PID (Proporcional Integrador Derivativo)

Este conjunto de elementos de dominio por retroacción permite encontrar una diferencia en valor vistos o errores entre un valor medible y el valor que deseamos conseguir, al acomodar un movimiento que se acople al desarrollo. El cálculo de dominio PID se basa en tres indicadores diferentes los cuales son: el proporcionado, integrado y derivado. La valoración del proporcionado describe la oposición de la presente equivocación. El integrado realiza una modificación del proporcionado al integrado del valor errado, permitiéndonos aplicar fuerzas necesarias para su dominio, el valor errado de persecución es minimizado a su nulidad. El derivado permite la oposición del tiempo en que se obtiene este error. (Castro E. , 2015)

1.3.15. Dominio Inmejorable

Cuenta con un método exacto empleado para solucionar incógnita de mejorar los sistemas que se van desarrollando a lo largo del tiempo y están aptas por el dominio de cargas o fuerzas exteriores. Hay posibilidad que los sistemas pueden desarrollarse en cada época, los seres humanos y los accesos de formas de pago. Luego de ello estás incógnitas tengan alguna respuesta el dominio inmejorable nos apertura nuevos estilos para los diferentes dominios de las variantes, en otras palabras, puede demostrar diferentes formas alcanzan un conjunto de un método de disposición principal a que se pueda convertir en uno perfecto. (Pinch E. , 17)

El dominio inmejorable se describe al planteamiento de métodos de dominio invariable demostrados nombrado indicativo de función o competencia de coste. El método de dominio tiene en cuenta que se detalla en la siguiente ecuación:

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (16)$$

En donde:

x = Ente matemático de disposición (capacidad n)

u = Ente matemático de dominio (entrante, capacidad r)

A = Arreglo bidimensional de factor cte. $n \times n$

B = Arreglo bidimensional de factor cte. $n \times r$

Al plantear los métodos de dominio, con reiteración es importante considerar el ente matemático como la recta o plano de dominio $u(t)$ de esta manera un indicativo de función precisa se disminuya. Su dominación indica que un indicativo de desempeño al cuadrado, condiciona el análisis matemático nulo u ilimitado, de manera que:

$$J = \int_0^{\infty} L(x, u) dt \quad (17)$$

En el que $L(x, u)$ es el desempeño o un desempeño hermitiano de x y u , ocasionará las condiciones de dominio directo, se afirma:

$$u(t) = -Kx(t) \quad (18)$$

En donde K es una matriz $r \times n$, o

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_r \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \cdots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \cdots & k_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{r1} & k_{r2} & \cdots & k_{rn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad (19)$$

Por consiguiente, el planteamiento de los métodos de dominio inmejorable y los métodos normalizados inmejorables apoyados en semejantes indicativos de función al cuadrado, disminuyen la delimitación de componentes en el arreglo bidimensional de K .

Normalmente, el método de dominio inmejorable consta de reducir la capacidad de coste (Indicativo de ejecución) mencionado en la posterior manera:

$$J = \int_0^{\infty} (x * Qx + u * Ru) dt \quad (20)$$

En el cual el término “Q” es un arreglo bidimensional cuadrado o proporcionado existente delimitado real (o forma cuadrática real), “R” es un arreglo bidimensional cuadrado o proporcionado existente delimitado real y u no se encuentra limitado.

1.3.16. Dimensión de disposición

El área de “n” magnitudes que abarcan líneas de ejes vienen a ser constituidos por ejes “ x_1 , x_2 , . . . , x_n ”, llamados también dimensión de disposición. Alguna disposición puede manifestarse por medio de un trazo en la dimensión de estados. (De la Rosa F. , 2009)

1.3.17. Disposición en un sistema activo

Un grupo más reducido variantes (llamadas variantes de disposición) por tanto el entendimiento para comprender estas variantes en “ $t = t_0$ ”, juntamente con la cognición del ingreso para “ $t \geq t_0$ ”, nos permite definir en su totalidad el proceder del método hacia algún tiempo igual o posterior a “ t_0 ”. (Katya P. , 2011)

1.3.18. Variante de disposición

Estas variantes en un sistema activo, vienen a conformar un grupo más reducido que contienen variantes las cuales permiten definir la disposición del sistema activo. En este caso si es necesario como un mínimo de distintas variantes “ $x_1, x_2, . . . , x_n$ ” al detallar en su totalidad las conductas de un procedimiento activo, de la misma manera que n variantes de disposición. Al estudiar las variantes de disposición no se requieren medidas ponderables y contemplarlas concretamente. No obstante, en su experiencia es proporcionado escoger partes que se calculan con sencillez a causa de preceptos de dominio inmejorable pretendiendo replicar por completo las variantes de disposición analizadas proporcionadamente.

1.3.19. Segmento de disposición

Al requerir “n” variable de disposición al detallar completamente el proceder de algún método definido, esta “n” variable de disposición se tiene en cuenta a los “n” elementos del segmento “x”. De esta manera el segmento se llama segmento de disposición. De modo que un segmento de disposición es el cual define solamente la disposición del método $x(t)$ en algún período $t \geq t_0$, logrado el valor del segmento donde $t = t_0$ y se detalla inicio $u(t)$ a fin de $t \geq t_0$. (Katya P. , 2015)

Modelo del manipulador con sus enlaces dúctiles y servomotor en el origen:

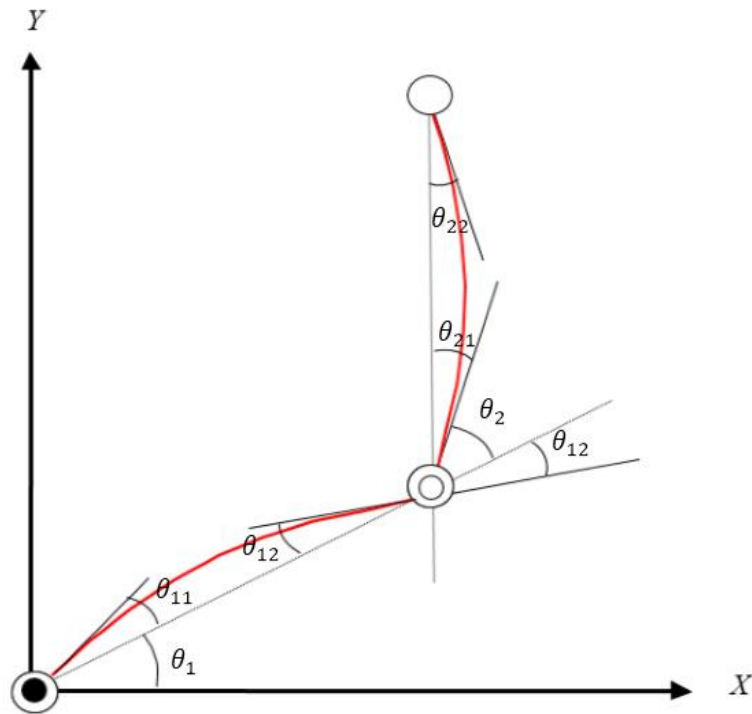


Figura 2. Representación en la unión eslabones flexibles del manipulador

Los indicadores del manipulador se especifican posteriormente:

θ_1, θ_2 : Ángulos de rotación de las articulaciones.

θ_{11}, θ_{12} : Arista de desviación en la extremidad de la base de cada unión.

θ_{21}, θ_{22} : Arista de desviación en la extremidad al terminar cada unión.

l_1, l_2 : Longitudes de los eslabones.

m_1, m_2 : Volumen del posterior vínculo y del pequeño error.

J_1, J_2 : Momento de inacción de las bases de giro en su junta.

J_{11}, J_{21} : Momento de inacción de la posterior junta y del mínimo error.

$E_1 l_1, E_2 l_2$: Rigidez Flexional de las articulaciones.

c_{11}, c_{21} : Coeficiente de amortiguamiento de los eslabones.

1.4. Problema

¿Cuál será el algoritmo de control para reducir la deflexión en un brazo y simultáneamente alcanzar una posición deseada en el plano?

1.5. Objetivos

1.5.1. General

- ❖ Determinar el algoritmo de control para reducir la deflexión y alcanzar una posición en el plano.

1.5.2. Específicos

- ✓ Modelar el brazo mediante el método de Lagrange.
- ✓ Hallar parámetros de posición y deflexión.
- ✓ Aplicar al brazo las estrategias de control usando la serie de Fourier.
- ✓ Elaborar un programa en Matlab para obtener las entradas optimizadas.
- ✓ Simulación y comparación de los parámetros.
- ✓ Determinar los ángulos de posición final del brazo en el plano.
- ✓ Obtener diagramas de las trayectorias del movimiento del brazo.

II. MARCO METODOLOGICO

2.1. Hipótesis

El algoritmo de control permitirá reducir la deflexión en un brazo plano de eslabones flexibles y alcanzar la posición deseada.

2.2. Variables

Dependientes:

- ✓ Ángulos de posición
- ✓ Ángulos de deflexión (vibración) en cada eslabón
- ✓ Torques en cada actuador

Independientes:

- ✓ Masas de articulaciones
- ✓ Momentos de inercia
- ✓ Dimensiones del brazo

2.3. Operacionalización de variables

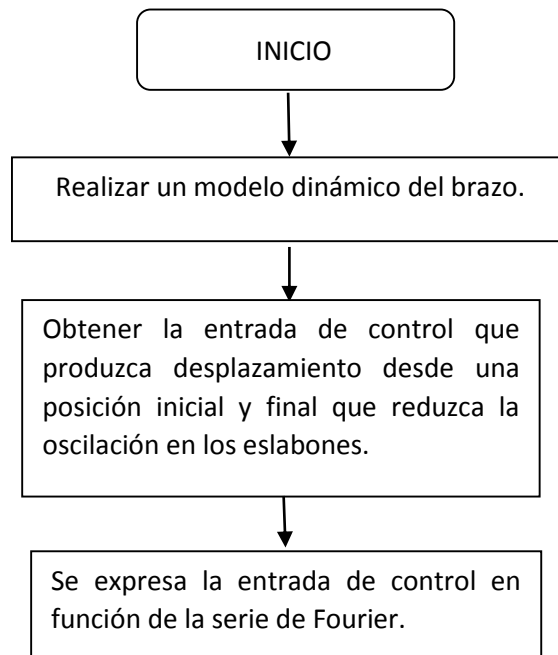
Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Escala de medición
Angulo de posición	Denominado también como espacio de posición. Viene a ser una arista cuyo punto tiene coincidencia con un inicio el cual es un eje de coordenada "x" positivo dentro de un sistema metódico.	Es la arista comprendida en el eje "x" y el eslabón 1.	Ángulos iniciales : θ_1 , θ_2	Cuantitativo

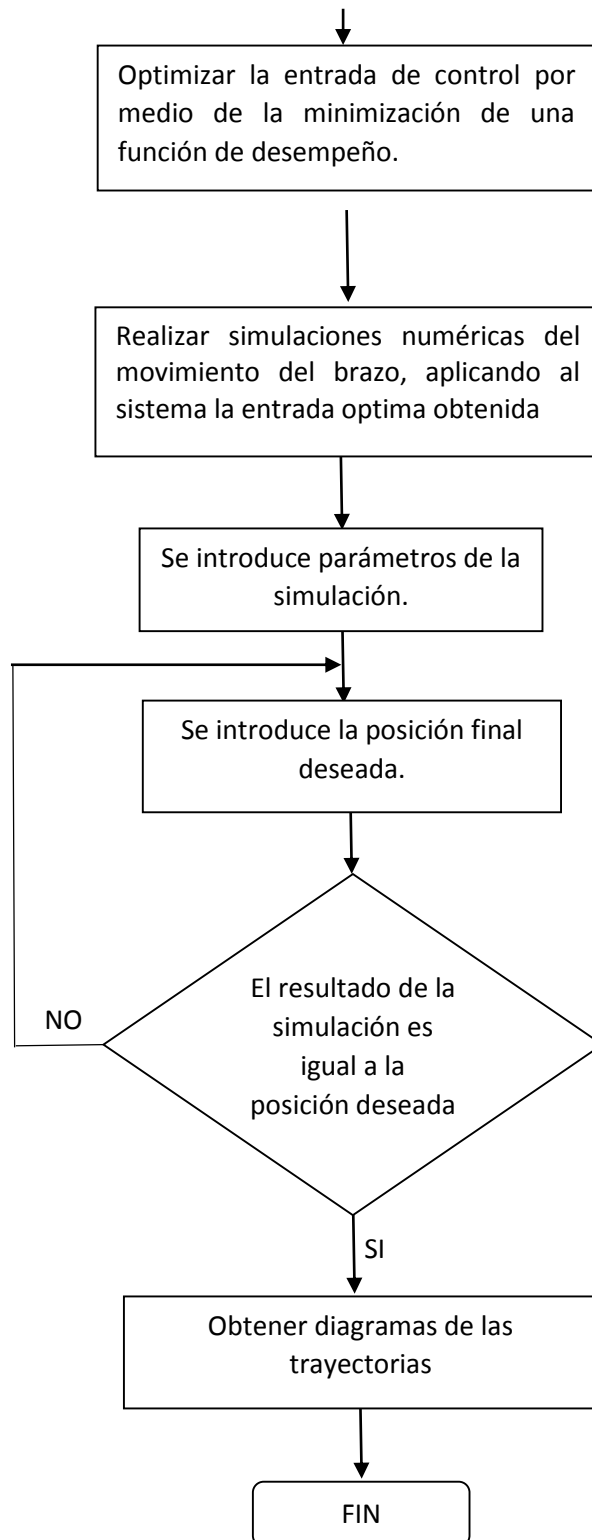
Angulo de deflexión	Vienen a ser las aristas calculadas en medio de la extensión de la alineación previa y la alineación posterior y este puede tener la dirección Izquierda (signo negativo) o Derecho (signo positivo)	Formado entre la deflexión y el ángulo de posición.	Ángulos formados : θ_{11} , θ_{12} θ_{21} , θ_{22}	Cuantitativo
Torque	Es una medida que cuenta con dirección y sentido, el cual es obtenido desde una posición de utilidad de su esfuerzo. También puede ser interpretado al igual que momento activo o de esfuerzo.	Es la salida que produce el servomotor.	El torque de entrada moverá la base o primera articulación.	Cuantitativo

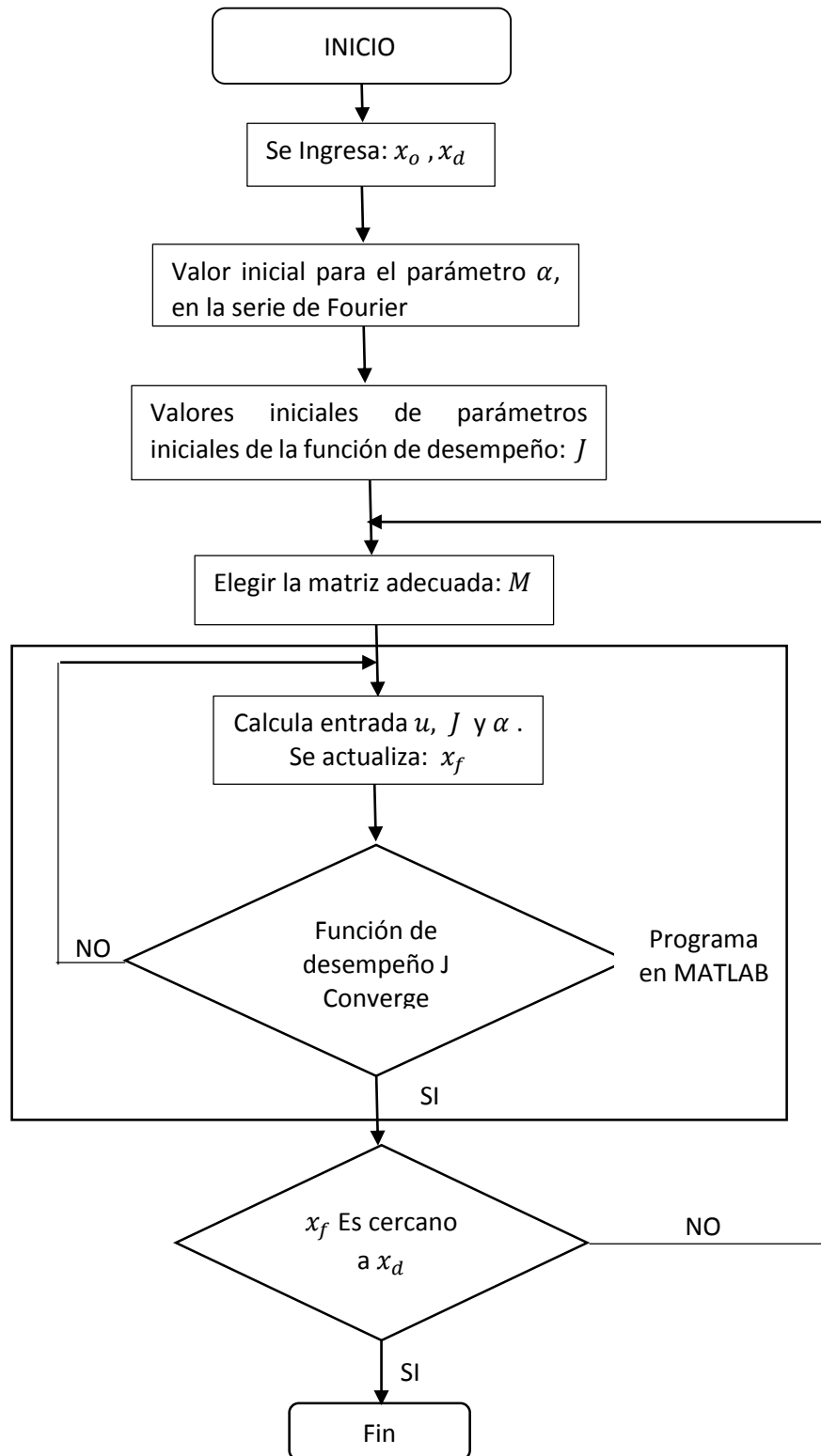
Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Escala de medición
Masas de articulaciones	Se considera a la dimensión de proporción de masa que tiene un elemento en este caso las cuales soportan los brazos del sistema.	Masa total considerada en cada articulación.	Masas de las articulaciones en sí.	Cuantitativo

Momentos de Inacción	Viene a ser la medición de la inacción de giro en una masa. Esta masa rota en función de un eje primario inactivo, la inacción de giro viene a ser interpretada por una medida vectorial la cual tiene una dirección denominada también momento de pasividad.	Momento de inercia respecto a su propio eje y momento de inercia respecto al eje de la base.	Hallados matemáticamente.	Cuantitativo
Dimensiones del brazo	Es un número relacionado con las propiedades métricas de un brazo matemáticamente.	Son accionadas por los servomotores en el plano.	La longitud del largo y ancho del brazo.	Cuantitativo

2.4. Algoritmo







2.5. Tipo de estudio

Aplicado – Explicativo

2.6. Diseño

Pre experimental

2.7. Población, Muestra y Muestreo

Brazos mecánicos en empresas industriales en Trujillo

2.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

- Técnica de análisis de textos, comentarios de los textos solicitados para el desarrollo de la investigación.
- Recolección de publicaciones de catálogos y revistas sobre control de posicionamiento de un brazo mecánico.
- Búsqueda en páginas de internet de estudios similares realizados anteriormente.
- Técnicas de software, simulación y programación en Matlab

2.9. Métodos de análisis de datos

- Obtener datos mediante una simulación de Matlab.
- Optimizarlo mediante control óptimo.
- Verificar que la posición final, tenga un error mínimo de lo contrario se modifica la estrategia o parámetro de control.
- Obtener diagramas de las trayectorias del movimiento del brazo.

III. RESULTADOS

3.1. Modelo del manipulador

El modelo del enlace se basa en el caso viga simplemente apoyada con momentos aplicados en ambos extremos. La flexión del enlace es para ser expresada por los ángulos de deflexión en ambos extremos. Luego de estudiar y conseguir un prototipo material para usar diferentes procedimientos, se toman en consideración algunos supuestos:

- a) Los vínculos son sin masa, la masa se concentra en las articulaciones
- b) La deformación del brazo para una viga simplemente apoyada con momentos en ambos extremos se puede suponer que es estática.
- c) La fuerza de fricción del eje es despreciable pequeña para conducir el brazo.
- d) La deformación del enlace es mucho menor que su longitud.
- e) El dominio de gravitación, no se toma en consideración.
- f) La oscilación será limitada en el eje yacente.

A partir de la expresión general para la deflexión de una viga simplemente apoyar, la ecuación de la curva elástica para cada viga flexible sola (enlace) se puede establecer como:

$$E_1 I_1 \frac{d^2 y}{dx^2} = \left(1 - \frac{x}{l_1}\right) Mo_{11} + \frac{x}{l_1} Mo_{12} \quad (21)$$

$$E_2 I_2 \frac{d^2 y}{dx^2} = \left(1 - \frac{x}{l_2}\right) Mo_{21} + \frac{x}{l_2} Mo_{22} \quad (22)$$

Donde:

E_1 : Medida adaptable para cada enlace.

I_1 : Instancia de inmovilidad de zona oblicua

l_i : Distancia para el vínculo corresponsal, con $i = 1,2$.

Los momentos que actúan en las articulaciones y considerando causando flexión pura Mo_{12} correspondiente a los momentos en el extremo opuesto, con $i = 1,2$.

Cada uno de los ángulos de deflexión es descrita por las siguientes expresiones:

Primera articulación:

$$\theta_{11} = - \frac{dy}{dx}_{x=0} = \frac{Mo_{11}}{3E_1 I_1} l_1 + \frac{Mo_{12}}{6E_1 I_1} l_1 = \frac{l_1}{6E_1 I_1} (2Mo_{11} + Mo_{12}) \quad (23)$$

$$\theta_{12} = - \frac{dy}{dx}_{x=l_1} = \frac{Mo_{11}}{6E_1 I_1} l_1 + \frac{Mo_{12}}{3E_1 I_1} l_1 = \frac{l_1}{6E_1 I_1} (Mo_{11} + 2Mo_{12}) \quad (24)$$

Segunda articulación:

$$\theta_{21} = - \frac{dy}{dx}_{x=0} = \frac{Mo_{21}}{3E_2 I_2} l_2 + \frac{Mo_{22}}{6E_2 I_2} l_2 = \frac{l_2}{6E_2 I_2} (2Mo_{21} + Mo_{22}) \quad (25)$$

$$\theta_{22} = - \frac{dy}{dx}_{x=l_2} = \frac{Mo_{21}}{6E_2 I_2} l_2 + \frac{Mo_{22}}{3E_2 I_2} l_2 = \frac{l_2}{6E_2 I_2} (Mo_{21} + 2Mo_{22}) \quad (26)$$

Dado que el par de torsión se aplica sólo al primer enlace en la articulación, se supone que la relación entre los momentos de flexión en ambos extremos es como se muestra:

$$\begin{cases} Mo_{11} \gg Mo_{12} \\ Mo_{21} = Mo_{22} \end{cases} \quad (27)$$

De la relación (27) establecido por este supuesto y de expresiones para los ángulos de deflexión en las ecuaciones (23) a (26), la siguiente relación (28) a (31) entre los ángulos de deflexión se puede deducir. En la primera articulación, en el momento en el final del codo puede ser

comparativamente indiferente; a continuación, las expresiones para los ángulos de deflexión se convierten en:

$$\theta_{11} = \frac{Mo_{11}}{3E_1 I_1} l_1 + \frac{Mo_{12}}{6E_1 I_1} l_1 = \frac{Mo_{11}}{3E_1 I_1} l_1 \quad (28)$$

$$\theta_{12} = \frac{Mo_{11}}{6E_1 I_1} l_1 + \frac{Mo_{12}}{3E_1 I_1} l_1 = \frac{Mo_{12}}{6E_1 I_1} l_1 \quad (29)$$

La relación resultante entre estos ángulos es: $\theta_{11} = 2 \theta_{12}$

Para la segunda articulación de las expresiones se convierten en:

$$\theta_{21} = \frac{Mo_{21}}{3E_2 I_2} l_2 + \frac{Mo_{22}}{6E_2 I_2} l_2 = \frac{Mo_{21}}{2E_2 I_2} l_2 \quad (30)$$

$$\theta_{22} = \frac{Mo_{21}}{6E_2 I_2} l_2 + \frac{Mo_{22}}{3E_2 I_2} l_2 = \frac{Mo_{21}}{2E_2 I_2} l_2 \quad (31)$$

Esto nos lleva a la relación: $\theta_{21} = \theta_{22}$

3.2. Modelo Dinámico

Considerando como prototipo que muestra la complejidad 2 (brazo mecánico plano el cual cuenta de eslabones), la posición de cualquier punto en el enlace de orden i está dada por las siguientes relaciones donde:

$$x_i = x_{i-1} + l_i \cos(\varphi_i) \quad (32)$$

$$y_i = y_{i-1} + l_i \sin(\varphi_i) \quad (33)$$

Para los dos modelos de articulaciones, la energía cinética T se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$T = \frac{m_1}{2} (\dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2) + \frac{m_2}{2} (\dot{x}_2^2 + \dot{y}_2^2) + \frac{1}{2} J_1 (\dot{\theta}_1^2) + \frac{1}{2} J_{11} (\dot{\phi}_1 + \dot{\theta}_{12})^2 + \frac{1}{2} J_2 (\dot{\phi}_2 + \dot{\theta}_{21})^2 + \frac{1}{2} J_{21} (\dot{\phi}_2 + \dot{\theta}_{22})^2 \quad (34)$$

Cuando J_i y J_{il} son los momentos de la relación de orden i , conjuntas respectivamente con:

$$\varphi_1 = \theta_1 + \theta_{11} \quad (35)$$

$$\varphi_2 = \theta_1 + \theta_{12} + \theta_2 + \theta_{21} \quad (36)$$

En cambio, la fuerza condicional en su estructura autoriza manifestar a través de la proposición de Clapeyron y reemplazando la fórmula (23) en (31) con la forma de la siguiente correlación:

$$U = \frac{1}{2} \sum M o_i \theta_i \quad (37)$$

Con $i = 11, 12, 21, 22$.

$$U = \frac{1}{2} M o_{11} \theta_{11} (t) + \frac{1}{2} M o_{12} \theta_{12} (t) + \frac{1}{2} M o_{21} \theta_{21} (t) + \frac{1}{2} M o_{22} \theta_{22} (t) \quad (38)$$

Resultando en la siguiente expresión:

$$U = \frac{2E_1 I_1}{l_1} (\theta_{11}^2 - \theta_{12} \theta_{11} + \theta_{12}^2) + \frac{2E_1 I_2}{l_2} (\theta_{21}^2 - \theta_{21} \theta_{22} + \theta_{22}^2) \quad (39)$$

La expresión para la disipación de energía D se puede escribir en la forma

$$\dot{D} = \frac{1}{2} C_1 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} C_2 \dot{\theta}_2^2 + \frac{1}{2} C_{11} l_1^2 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} C_{21} l_2^2 \dot{\theta}_1^2 \quad (40)$$

El conjunto de coordenadas generalizadas identificados está dado por

$$q_i = \{\theta_1, \theta_{11}, \theta_{12}, \theta_2, \theta_{21}, \theta_{22}\} \quad (41)$$

En el cual las variables simbolizan las siguientes aristas como prototipo en la imagen 2:

θ_1 = Angulo para la rotación del primer eslabón.

θ_2 = Angulo de rotación del segundo eslabón.

θ_{11} = Angulo de deflexión de la primera articulación en el eslabón del hombro.

θ_{21} = Angulo de deflexión del segundo eslabón en el primer codo.

θ_{12} = Angulo de deflexión del segundo eslabón en el primer codo.

θ_{22} = Angulo para la desviación en el posterior enlace de la segunda unión.

Representación del prototipo activo con sus enlaces (**Figura 02.**) se reduce mediante el uso de Lagrange:

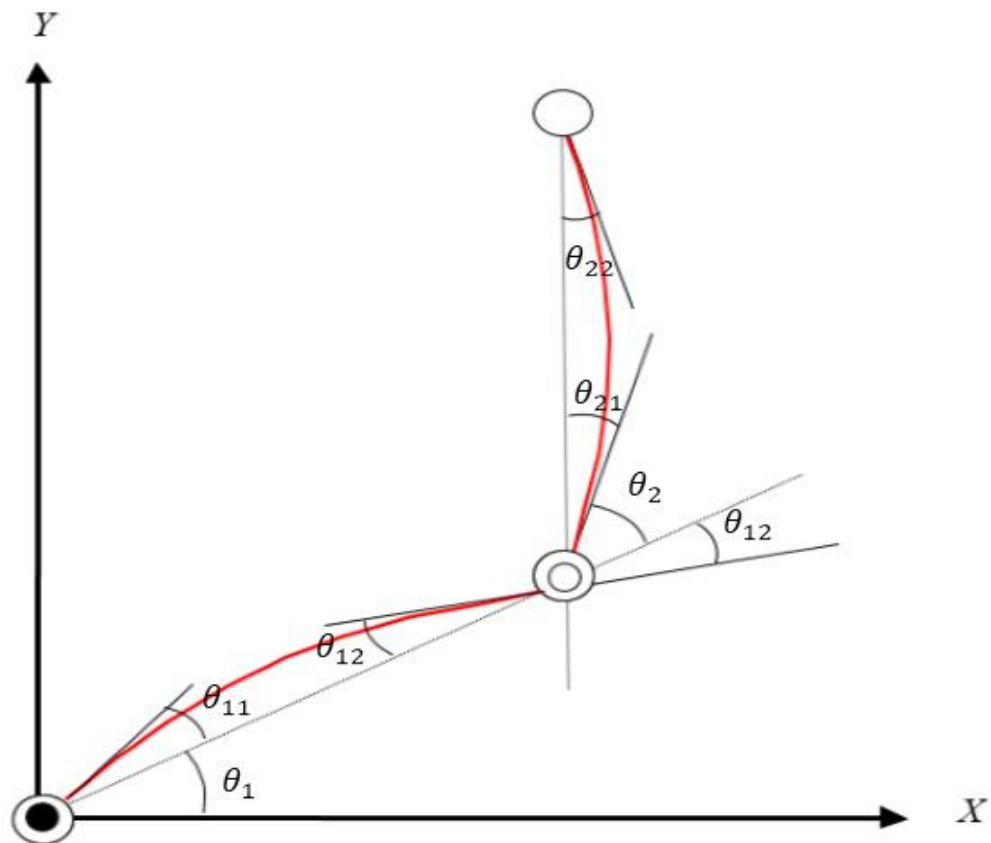


Figura 02. Representación de la unión eslabones flexibles del manipulador

3.3. La ecuación de movimiento:

$$L = T - U \quad (42)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} + \frac{\partial D}{\partial \dot{q}_i} = t_i + Q'_i \quad (43)$$

En el cual i toma la cantidad de términos infinitos positivos. Tomando la fórmula (43) que viene hacer la interpretación adecuada de Lagrange con procedimientos de energías entrantes (torsión) y energías dispersivas (D), sujetas con limitaciones. La expresión Q prima i interpreta la contribución de las restricciones cinemáticas convencionales que se encuentran en los casos comunes de los sistemas.

En este caso, el orden implica que las ecuaciones de las limitaciones no serán expresiones cinemáticas pero dinámicos contienen aceleraciones no integrables, en consecuencia el valor para el término Q'_i se hace igual a cero. Entonces, expresiones aplicando (42) y (43), las ecuaciones de movimiento se obtienen en:

$$M(\theta) \ddot{\theta} + h(\theta, \dot{\theta}) + P(\theta) = B\tau \quad (44)$$

Escribiendo las ecuaciones del sistema de una manera detallada:

$$M_{11} \ddot{\theta}_1 + M_{12} \ddot{\theta}_2 + M_{13} \ddot{\theta}_{11} + M_{14} \ddot{\theta}_{21} + M_{15} \ddot{\theta}_{12} + M_{16} \ddot{\theta}_{22} + h_1 + P_1 = \tau$$

$$M_{21} \ddot{\theta}_1 + M_{22} \ddot{\theta}_2 + M_{23} \ddot{\theta}_{11} + M_{24} \ddot{\theta}_{21} + M_{25} \ddot{\theta}_{12} + M_{26} \ddot{\theta}_{22} + h_2 + P_2 = 0$$

$$M_{31} \ddot{\theta}_1 + M_{32} \ddot{\theta}_2 + M_{33} \ddot{\theta}_{11} + M_{34} \ddot{\theta}_{21} + M_{35} \ddot{\theta}_{12} + M_{36} \ddot{\theta}_{22} + h_3 + P_3 = 0$$

$$M_{41} \ddot{\theta}_1 + M_{42} \ddot{\theta}_2 + M_{43} \ddot{\theta}_{11} + M_{44} \ddot{\theta}_{21} + M_{45} \ddot{\theta}_{12} + M_{46} \ddot{\theta}_{22} + h_4 + P_4 = 0$$

$$M_{51} \ddot{\theta}_1 + M_{52} \ddot{\theta}_2 + M_{53} \ddot{\theta}_{11} + M_{54} \ddot{\theta}_{21} + M_{55} \ddot{\theta}_{12} + M_{56} \ddot{\theta}_{22} + h_5 + P_5 = 0$$

$$M_{61} \ddot{\theta}_1 + M_{62} \ddot{\theta}_2 + M_{63} \ddot{\theta}_{11} + M_{64} \ddot{\theta}_{21} + M_{65} \ddot{\theta}_{12} + M_{66} \ddot{\theta}_{22} + h_6 + P_6 = 0$$

Cuando utilizamos la principal fórmula de este conjunto interpreta la fórmula para el desplazamiento, el principal enlace en medio de similar adaptado, único en su actuador de su extremidad (origen) conjunta. Los subsiguientes pares de fórmulas interpretan ecuaciones de restricción en las fórmulas restantes interpretan fórmulas activas en el caso de la deflexión para ambos enlaces. Reescritura de hallarse fórmulas de manera lineal cartesiana o ejes diversificados convertidos en:

$$\theta = [\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_{11} \ \theta_{21} \ \theta_{12} \ \theta_{22}]^T \quad (45)$$

La matriz de inercia M, se convierte en:

$$\begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} & M_{14} & M_{15} & M_{16} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} & M_{24} & M_{25} & M_{26} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} & M_{34} & M_{35} & M_{36} \\ M_{41} & M_{42} & M_{43} & M_{44} & M_{45} & M_{46} \\ M_{51} & M_{52} & M_{53} & M_{54} & M_{55} & M_{56} \\ M_{61} & M_{62} & M_{63} & M_{64} & M_{65} & M_{66} \end{bmatrix} \quad (46)$$

Para determinar el cálculo de los valores matriciales de inacción:

$$M_{11} = J_1 + J_2 + J_{11} + J_{21} + (m_1 + m_2)l_1^2 + m_2 l_2^2 + 2(m_2 l_1 l_2 \cos \alpha)$$

$$M_{12} = J_2 + J_{21} + m_2 l_2^2 + m_2 l_1 l_2 \cos \alpha$$

$$M_{13} = \frac{3}{2} (J_2 + J_{11} + J_{21}) + (m_1 + m_2)l_1^2 + \frac{3}{2} m_2 l_2^2 + \frac{5}{2} (m_2 l_1 l_2 \cos \alpha)$$

$$M_{14} = 2 (J_{21}) + m_2 l_2^2 + (m_2 l_1 l_2 \cos \alpha)$$

$$M_{15} = J_2 + J_{21} + m_2 l_2^2$$

$$M_{16} = J_2$$

$$M_{21} = M_{12}$$

$$M_{22} = J_2 + J_{21} + m_2 l_2^2$$

$$M_{23} = J_2 + J_{21} + m_2 l_2^2 + m_2 l_1 l_2 \cos \alpha$$

$$M_{24} = J_2 + m_2 l_2^2$$

$$M_{25} = J_2 + J_{21} + m_2 l_2^2$$

$$M_{26} = J_2$$

$$M_{31} = M_{13}$$

$$M_{32} = M_{23}$$

$$M_{33} = J_2 + J_{11} + J_{21} + (m_1 + m_2)l_1^2 + m_2 l_2^2 + 2(m_2 l_1 l_2 \cos \alpha)$$

$$M_{34} = J_2 + m_2 l_2^2 + m_2 l_1 l_2 \cos \alpha$$

$$M_{35} = J_2 + J_{11} + J_{21} + m_2 l_2^2 + m_2 l_1 l_2 \cos \gamma$$

$$M_{36} = J_2$$

$$M_{41} = M_{14}$$

$$M_{42} = M_{24}$$

$$M_{43} = M_{34}$$

$$M_{44} = J_2 + m_2 l_2^2$$

$$M_{45} = J_2 + m_2 l_2^2$$

$$M_{46} = J_2$$

$$M_{51} = M_{15}$$

$$M_{52} = M_{25}$$

$$M_{53} = M_{35}$$

$$M_{54} = M_{45}$$

$$M_{55} = J_2 + J_{11} + J_{21} + m_2 l_2^2$$

$$M_{56} = J_2$$

$$M_{61} = M_{16}$$

$$M_{62} = M_{26}$$

$$M_{63} = M_{36}$$

$$M_{64} = M_{46}$$

$$M_{65} = M_{56}$$

$$M_{66} = J_2$$

Con los ángulos:

$$\begin{aligned}\alpha &= \theta_{12} + \theta_2 + \theta_{21} \\ \gamma &= \theta_{12} + \theta_2 + \theta_{21} + \theta_{22}\end{aligned}$$

Un segmento expresado en las terminaciones de Coriolis, para producir rotación en “h”:

$$h = [h_1 \ h_2 \ h_3 \ h_4 \ h_5 \ h_6]^T \quad (47)$$

Con,

$$h_1 = C_1 \dot{\theta}_1 + m_2 l_1 l_2 (\dot{\phi}_1^2 - \dot{\phi}_2^2) \sin \alpha$$

$$h_2 = C_2 \dot{\theta}_2 + m_2 l_1 l_2 \dot{\phi}_1^2 \sin \alpha$$

$$h_3 = C_{11} l_1^2 \dot{\theta}_{11} + m_2 (\dot{\phi}_2 - \dot{\phi}_1) (2 \dot{\phi}_1 + (\dot{\phi}_2 - \dot{\phi}_1)) l_1 l_2 \sin \alpha$$

$$h_4 = C_{21} l_2^2 \dot{\theta}_{21} + m_2 \dot{\phi}_1^2 l_1 l_2 \sin \alpha$$

$$h_5 = C_{12} l_1^2 \dot{\theta}_{12} + m_2 l_1 l_2 \dot{\phi}_1^2 \sin \alpha$$

$$h_6 = C_{22} l_2^2 \dot{\theta}_{12}$$

El vector P es:

$$P(\theta) = [P_1 \ P_2 \ P_3 \ P_4 \ P_5 \ P_6]^T \quad (48)$$

$$P_1 = P_2 = 0$$

$$P_3 = \frac{2 E_1 I_1}{I_1} (2\theta_{11} - \theta_{12})$$

$$P_4 = \frac{2 E_2 I_2}{I_2} (2\theta_{21} - \theta_{22})$$

$$P_5 = \frac{2 E_1 I_1}{I_1} (2\theta_{12} - \theta_{11})$$

$$P_6 = \frac{2 E_2 I_2}{I_2} (2\theta_{22} - \theta_{21})$$

Por último, el sistema de dos eslabones flexibles se expresa por su forma en dimensión de estado a manera de procedimiento afín. La finalidad es que puede acelerar juntas eficazmente, $\ddot{\theta}_1$ pasa a cambiar el actual inicio para el procedimiento. Entonces, al momento de manifestar su aceleramiento en las juntas inactivas, es:

$$M^* \ddot{\theta}_1 + M^{**} \ddot{\theta}_p = -(h^{**} + P^{**}) \quad (49)$$

$$\ddot{\theta}_p = -(M^{**})^{-1} (h^{**} + P^{**}) - (M^{**})^{-1} M^* \ddot{\theta}_1 \quad (50)$$

Dado que la nueva entrada es $u = \ddot{\theta}_1$, Ec. (50) se convierte en:

$$\ddot{\theta}_p = -(h^{**} + P^{**})(M^{**})^{-1} - M^*(M^{**})^{-1} u \quad (51)$$

En el cual la terminación inicial de la posición diestra (ecuación). (51) Expresado al que deriva. Un ente matemático restante coordinado, así como los otros vectores y matrices en la Ec. (51) se convierten en:

$$\ddot{\theta}_p = [\theta_2 \ \theta_{11} \ \theta_{21} \ \theta_{12} \ \theta_{22}]^T \quad (52)$$

$$h^{**} = [h_2 \ h_3 \ h_4 \ h_5 \ h_6]^T \quad (53)$$

$$P^{**} = [P_2 \ P_3 \ P_4 \ P_5 \ P_6]^T \quad (54)$$

$$M^* = [M_{21} \ M_{31} \ M_{41} \ M_{51} \ M_{61}]^T \quad (55)$$

$$M^* = \begin{bmatrix} M_{22} & M_{23} & M_{24} & M_{25} & M_{26} \\ M_{32} & M_{33} & M_{34} & M_{35} & M_{36} \\ M_{42} & M_{43} & M_{44} & M_{45} & M_{46} \\ M_{52} & M_{53} & M_{54} & M_{55} & M_{56} \\ M_{62} & M_{63} & M_{64} & M_{65} & M_{66} \end{bmatrix} \quad (56)$$

El par de entrada se puede obtener de la ecuación para la articulación activa y Eq. (51). Sustitución de la anterior fórmula para la junta accionada, seguidamente para expresar el par se obtiene como:

$$\tau = h_1 + P_1 - (M^{**})^{-1} (h^{**} + P^{**}) + (M_{11} - M_{12} (M^{**})^{-1} M^*) u \quad (57)$$

3.4. Procedimiento para la posición

El propósito en lograr un resultado próximo, al resultado óptimo ante la dificultad en desplazar el método aplicado a la articulación a partir de la distribución principal incluso su terminación, utilizamos la notación de principio de Fourier. Su método no rectilíneo es explicado en la subsiguiente especificación:

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t)) \quad (58)$$

En el cual “x” posicionamiento en el tiempo (t) variante donde manifiesta el desplazamiento del método, también “u” significa el ingreso del método y considerando “x” = 0, el desempeño para el coste será disminuido convenientemente expresándose del subsecuente modo:

$$J = \Delta x_{t_f}^T M \Delta x_{t_f} + \int_0^{t_f} \Delta x^T R \Delta x dt \quad (59)$$

Donde “x” posicionamiento terminal efectivo (t_f), x_{des} posicionamiento terminal ansiado, “R” y “M” indicados como términos algebraicos gravitacionales.

Retomando para expresar el desempeño del coste (asimismo nombrada clasificación de función), terminología del inicio de dominio “u”, obtenemos:

$$J = (x_f - x_d)^T M (x_f - x_d) + \int_{t_0}^{t_f} u^T R u dt \quad (60)$$

En el cual ordenaremos los elementos de gravedad “M” y “R” que acondicionaremos de manera transversal adecuado, x_f será el posicionamiento terminal efectivo, y x_d será el posicionamiento terminal requerido.

Intercambiando la progresión de un periodo de modo $T_f = 2\pi$, hay un resultado inmejorable expresado por $u(T) \in L_2(0,2)(\pi)$, ésta L_2 indica la “Dimensión de Hilbert” desempeñando ponderables en segmentos de una recta con la siguiente apariencia:

$$u(t) = (u_1(t), \dots, u_m(t))^T, t \in [0, 2\pi] \quad (61)$$

Si $\{e_i\}_{i=1}^{\infty}$ es el origen de vectores y sus productos internos, ahora aplicado los principios de Fourier, considerando $u \in L_2([0, 2\pi])$, desde el punto de vista la base toma una función continua o por partes, puede ser expresada como:

$$u = \sum_{i=1}^{\infty} \alpha_i e_i \quad (62)$$

Para alguna secuencia: $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots) \in L_2$, la dimensión Hilbert de magnitud interminable. El planteamiento de la notación del fundamento de Fourier es acercar el resultado a través de resultados de determinados sistemas de dimensión finita, introducidos al restringir el control de los primeros N términos del principio. Subsiguiente, empleamos un procedimiento del principio de Fourier, consiguiendo las posteriores especificaciones:

$$u = \sum_{i=1}^N \alpha_i e_i \quad (63)$$

Quedando:

$$u(t) = \frac{\alpha_0}{2} + \sum_{i=1}^N (\alpha_i \cos Nt + \alpha_i \sin Nt) \quad (64)$$

Escribiendo la función de Fourier para el brazo, resulta:

$$\begin{aligned} J[u] &= \left(x(t_f) - x_d\right)^T M \left(x(t_f) - x_d\right) + \sum_{i=1}^{\infty} \alpha_i^2 \\ &\approx \left(x(t_f) - x_d\right)^T M \left(x(t_f) - x_d\right) + \|\alpha\|^2 \end{aligned} \quad (65)$$

Donde depende del peso (M) y la oscilación final de la simulación, donde X_d es la posición deseada.

Dado que, un planeamiento eficaz para disminuir un costo total $J(a)$ con un programa elevándolo al cuadrado. Para que, la conjuntura de Hessian cerca de un espacio α_n es interpretado utilizando el desarrollo de Taylor:

$$J[\alpha_n + \delta] = J[\alpha_n] + \left\langle \frac{\partial J}{\partial \alpha} \Big|_{\alpha_n}, \delta \right\rangle + \frac{1}{2} \left\langle \frac{\partial^2 J}{\partial \alpha^2} \Big|_{\alpha_n}, \delta, \delta \right\rangle + o(\|\delta\|^3) \quad (66)$$

Donde el método de Newton, sería la función de la función de desempeño respecto a los coeficientes de la serie.

$$\frac{\partial J}{\partial \alpha} \Big|_{\alpha_n} = 2 \left(\alpha_n + Y_f^T M \left(x(t_f) - x_d \right) \right) \quad (67)$$

y

$$\frac{\partial^2 J}{\partial \alpha^2} \Big|_{\alpha_n} = 2 \left(I + Y_f^T M Y_f + \sum_{i=1}^n Z_{if} \left(M \left(x(t_f) - x_d \right) \right)_i \right) \quad (68)$$

“Con el Jacobiano $Y(t)$ y el Hessian $Z_i(t)$ ” referidos en las fórmulas (69) y (70) correspondientes:

$$Y_f = Y(t_f) = \frac{\partial x(t_f)}{\partial \alpha} \quad (69)$$

$$Z_{if} = Z_i(t) = \frac{\partial^2 x_i(t)}{\partial \alpha^2} \quad (70)$$

De forma que, las secuencias a continuar con el fin de hallar los cálculos son:

- Entrante: La valoración principal x_0 , la valoración terminal requerido x_d y fórmulas del método.
- Saliente: El ingreso del dominio enlazando los posicionamientos x_0 , x_d ; donde ésta ocasión sería el indicador de “Fourier”
- Seleccionamos una dimensión vectorial, tomando el “principio de Fourier” y manejar los iniciales “n” términos con el fin de definir la estructura de la progresión.
- Seleccionar el “criterio de Newton”, resolviendo las fórmulas del método, de igual modo hallar el “Jacobiano”. Verificar los antecedentes conseguidos.

Al finalizar el posicionamiento X_n alcanzamos la finalidad requerida y deseado x_d , se llega a culminar; en caso contrario, rehacemos desde el “criterio de Newton”. El esquema de salida visto en la “Figura 03” muestra las propiedades frecuentes de una notación.

Los parámetros para el manipulador flexible se muestran a continuación:

Tabla 01. Parámetros del manipulador

Representación	Indicador	Valoración
m_1	Volumen 2da conjuntura	0.3 kg
m_2	Volumen efector	0.3 kg
J_1	Momento Inercia 2da. Art.	0.000008778 kgm ²
J_2	Mom. Inercia Eje 2da. Art	0.000008778 kgm ²
l_1	Distancia 1er. Enlace	0.3 m
l_2	Distancia 2do. Enlace	0.3 m
c_{11}	Suspensión 1er. Eslabón	0.001 Ns/m
c_{22}	Susp. 2do. Eslabón	0.001 Ns/m
$E_1 l_1$	Rigidez flexional 1er. Eslabón	0.338 Nm ²
$E_2 l_2$	Rigidez flexional 2do. Eslabón	0.338 Nm ²

El orden de Fourier es de “tercer orden”, se tiene presente el dato erróneo conseguido y el período para su algoritmo utilizado entre los límites permitidos. Su lapso para su debido mando es “ $t = 2\pi$ ” en segundos, donde parte de su valoración de su oblicua se ingresarán por elementos algebraicos de su gravedad, y estos son:

$$M = \{10,15,2,10,18,20,15,29,18,24,13\}$$

Donde R será el conjunto de elementos adjuntos. Por consiguiente, los valores entrantes estarán mencionados en el posterior vínculo:

$$u(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{m=1}^3 (a_m \cos mt + b_m \sin mt) \quad (71)$$

La alternativa de elementos algebraicos de su gravedad, definiendo las soluciones de representarlos al ejecutarlos por procedimientos de prueba y fallo. Las conclusiones de los posicionamientos y desviaciones angulares de simulaciones las cuales sean adecuadas teniendo un margen de fallo, $0.01 < \text{radián}$.

Con la finalidad de representarlos, se utilizarán poner en acción “dos casos” dados un posicionamiento principal y terminal predeterminado hacia cada suceso en su brazo flexible, según se muestra:

Tabla 2. Casos de Aplicación para Modelo Flexible

Caso	Posicionamiento Principal	Posicionamiento Terminal
I	{0,0,0,0,0,0}	{30,0,0,0,0,0}
II	{0,0,0,0,0,0}	{-30,45,0,0,0,0}

3.5. Simulación en el Caso I:

En la **gráfica N°04** se demuestra que la posición inicial es de 30 grados, la línea negra es la segunda articulación, en cambio la línea gris es la primera articulación que genera una oscilación mayor ya que está es transmitida por el torque de un motor.

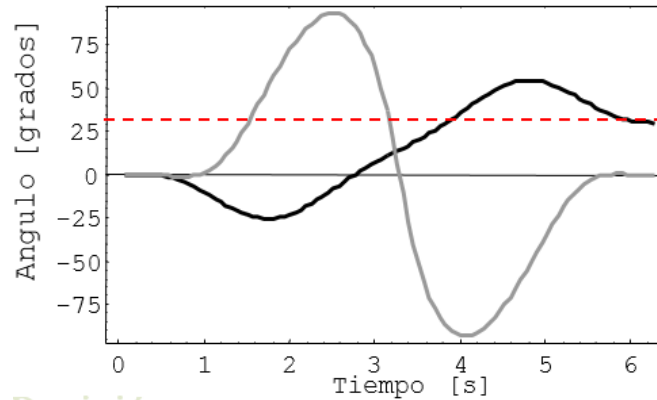


Figura N° 04: Trayectoria de la posición en ambas articulaciones

En la **figura N°05**, la oscilación ha sido reducida a aproximadamente cero, la línea negra (segunda articulación), toma una forma angular está se debe por los términos de la base de Fourier, la línea gris (primera articulación), se reduce la oscilación por parte del motor por parte de la optimización de las variables.

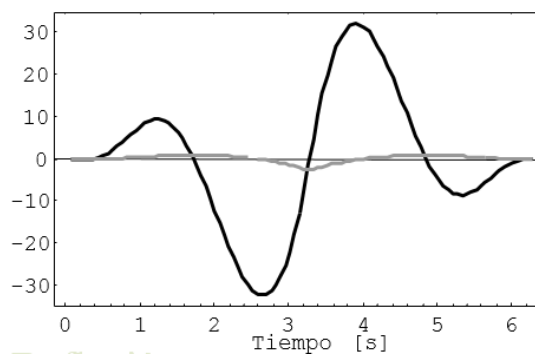


Figura N° 05: Trayectoria de la Oscilación en ambas articulaciones

3.6. Simulación en el Caso II:

En la **figura N°06** se muestra la posición inicial, la línea negra es la segunda articulación que es de -30 grados, y la línea gris es la primera articulación es de 45 grados que genera una oscilación mayor ya que es transmitida por el torque de un motor.

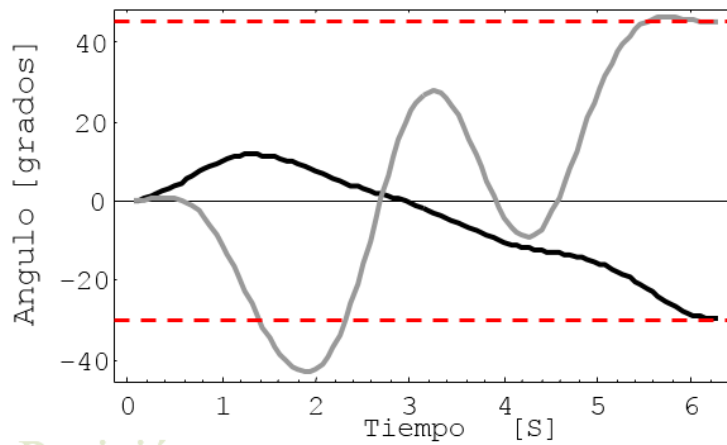


Figura N° 06: Trayectoria de la posición en ambas articulaciones

En la **figura N°07**. La oscilación ha sido reducida a aproximadamente cero, la línea negra (segunda articulación), toma una forma angular está se debe por los términos de la base de Fourier, la línea gris (primera articulación), se reduce la oscilación por parte del motor por parte de la optimización de las variables y llegando a tener una posición final.

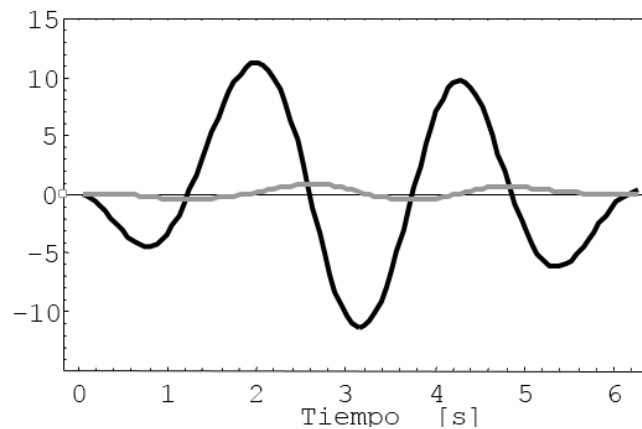


Figura N°07: Trayectoria de la Oscilación en ambas articulaciones

IV. DISCUSIÓN

La influencia de parámetros como el orden de la serie de Fourier utilizada y la estimación constante en la transversal de términos algebraicos de su gravedad, nos facilita considerablemente la conclusión del posicionamiento siendo mínima la probable equivocación.

En el siguiente caso por ejemplo solo se pudo obtener la posición inicial, y variando algunos parámetros no se obtuvieron resultados para disminuir la oscilación en los eslabones. La línea roja (Segunda articulación) con un ángulo de 15 grados y la línea azul (primera articulación) con un ángulo de -25 grados.

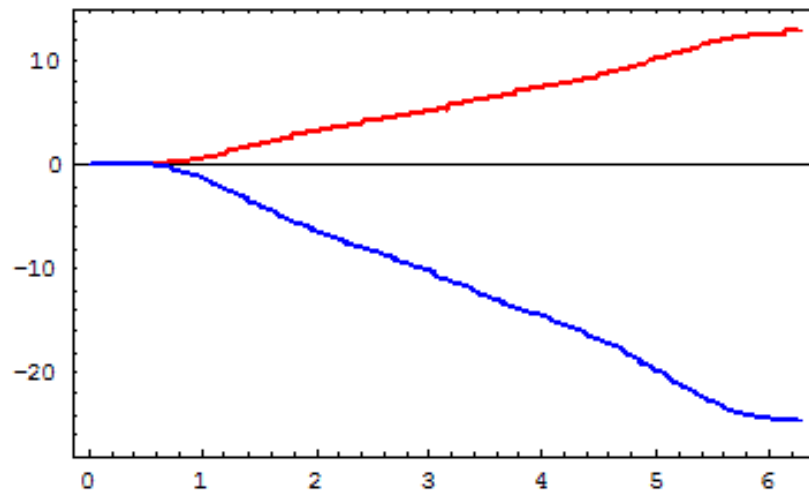


Figura N°08: Trayectorias erróneas

El orden de la serie contribuye especialmente al período de evaluar el dominio perfecto, porque si fuera un valor considerable el intervalo sería más amplio. La utilidad en la transversal de su gravedad interviene abiertamente en consecución de su rendimiento esperado. Por lo que consideramos el Caso I; Caso II, en el cual relacionamos el recorrido logrado en sus términos algebraicos convenientes de su gravedad y la alcanzada con cálculos adecuados.

El siguiente caso en la **figura N°08**. Solo se obtuvo la posición inicial; línea roja (Segunda articulación) con un ángulo de 60 grados y línea azul (primera articulación) con un ángulo de 0 grados.

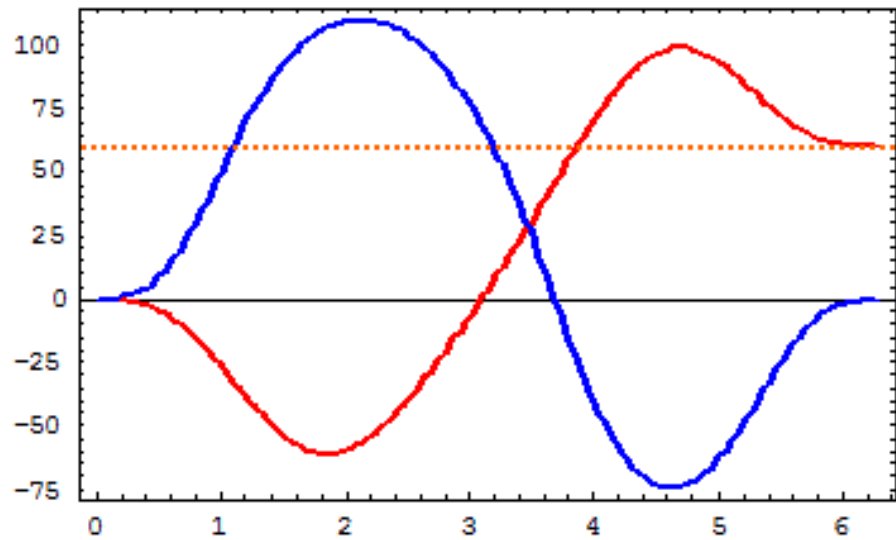


Figura N°09: Trayectorias erróneas

También se obtuvieron algunos inconvenientes con la programación, ya que en está dificultaba un error en las traspuestas gg y hh; las cuáles no se obtenían valores, ya que Matlab indicaba que se han excedido los caracteres permitidos al momento de ejecutar el programa.

V. CONCLUSIONES

- ✓ Se Modeló el brazo mediante el método de Lagrange, su modelo es basado en el caso de una viga apoyada con momentos aplicados en los extremos, creando una flexión en el enlace para ser expresada por los ángulos de deflexión en ambos extremos, consideradas como oscilaciones para que sean reducidas.
- ✓ Se hallaron los parámetros de posiciones iniciales tomando como referencia al inicio como valores de cero y se halló la deflexión en cada eslabón.
- ✓ Se elaboró un algoritmo de programación para hallar la entrada optimizada en el brazo de eslabones flexibles.
- ✓ Se aplicó la estrategia de control óptimo en el sistema de dos eslabones, y se notó el comportamiento de la deflexión en la gráfica de los casos logrando ser reducida.
- ✓ Se obtuvieron las trayectorias del movimiento del brazo en el plano mediante una posición deseada que es evaluada en el Caso I y caso II.

VI. RECOMENDACIONES

- ❖ Se recomienda estudiar más casos con diferentes posiciones iniciales distintas a cero.
- ❖ Probar con otros casos o serie de Fourier más amplios.
- ❖ Escoger otros modelos para la entrada como controladores PID, o redes neuronales
- ❖ Variar el tamaño con un eslabón, y agregar más eslabones.
- ❖ Comprobar experimentalmente con prototipos para la simulación.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvarado, R. H. (Febrero de 2010). Análisis dinámico y control de un robot para inspección de línea de transmisión. Obtenido de <https://cidesi.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1024/300/1/TM-RHA-2010.pdf>

Arca Continental Lindley. (2015). Arca Continental Lindley. Obtenido de <https://www.arcacontinentallindley.pe/nuestra-produccion.php>

Castro Echeverría Roberto, S. V. (2015). Sistema de posición de motor de corriente directa con controlador P, PI y PID. Obtenido de enlau.weebly.com/uploads/6/0/8/0/608034/tfc.doc

Chicaiza, P. (05 de Julio de 2018). Estrategias de Control. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/399949380/Estrategias-de-Control>

Conde, H. M. (2012). Diseño e implementación de un robot Scara. Obtenido de <https://tesisdegradohectorc2.es.tl/Perfil-de-Tesis.htm>

De la Rosa, F. (2009). Simulación del movimiento plano controlado de un brazo robótico. Obtenido de <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/8161/Tesis%20DoctoradoX%20-%20Felipe%20E.%20De%20la%20Rosa%20Bocanegra.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Espinoza, L. (27 de Noviembre de 2013). Control de proceso administrativo. Obtenido de <https://es.slideshare.net/lisbetespinozaalvarado1/control-administrativo-28694867>

García, D. (Febrero de 2008). Técnicas avanzadas de regulación automática. Obtenido de <https://www.preparadores.eu/secundaria/Sistemas-electrotecnicos-y-automaticos/Sistemas-electrotecnicos-y-automaticos-Tema.pdf>

Goyago Chanataxi Darwin Giovanni, G. R. (junio de 2008). Modelación Simulación y Control del movimiento Longitudinal y de cabeceo de un avión. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/656/1/CD-1596%282008-07-15-01-29-21%29.pdf>

José, J. (2015). Modelo matemático. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/281480884/Modelo-Matematico>

Katya Pérez M, C. E. (2011). Modelación en Variables de Estado. Obtenido de <http://virtual.usalesiana.edu.bo/web/contenido/dossier/22011/700.pdf>

La robótica. (Lunes 02 de Mayo de 2011). Obtenido de <http://roobootiicaa.blogspot.com/2011/05/caracteristicas.html>

Pinch, E. R. (10 de Mayo de 2017). Control Optimo. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Control_%C3%B3ptimo

Pinkipay. (07 de Noviembre de 2014). Fases De Construcción De Un Modelo Matemático. Obtenido de <https://www.clubensayos.com/Ciencia/Fases-De-Construccion-De-Un-Modelo-Matematico/2172645.html>

Ríos, S. (2013). Modelo matemático. Obtenido de Modelización. Alianza Universidad. ISBN 978-84-206-2822-6.: https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_matem%C3%A1tico

Robotica. (Domingo 29 de Agosto de 2010). Obtenido de <http://cazaresrobotica.blogspot.com/2010/08/los-problemas-en-la-cinematica-de-un.html>

Robótica. (29 de Agosto de 2010). Los problemas en la cinemática de un robot. Obtenido de <http://cazaresrobotica.blogspot.com/2010/08/los-problemas-en-la-cinematica-de-un.html>

Robots, D. d. (2012). Práctica de robótica utilizando Matlab. Obtenido de <http://nbio.umh.es/files/2012/04/practica3.pdf>

Sixto. (1995). Modelo matemático. Obtenido de <http://cursos.aiu.edu/MATEM%C3%81TICAS%20AVANZADAS%20PARA%20LA%20INGENIERIA%20DE%20SISTEMA/Sesi%C3%B3n%201/WORD%20-%20PDF/MATEM%C3%81TICAS%20AVANZADAS%20SESI%C3%93N%20I.pdf>

Trigo, M. (2015). Estrategias de control objetivo principal de cascada. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/242594685/trabajo-de-automatizacion-objetivo-principal-cascada-por-Michael-trigo-docx>

Villalobos. (2015). El ABC de la automatización. Obtenido de http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/Estrategias_de_Control.pdf

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Para la simulación de los parámetros se realizaron mediante el programa de MATLAB:

```
%*****
%
%-----
%
%
%
%
%*ALGORITMO PARA LA REDUCCIÓN DE LA OSCILACIÓN EN UN BRAZO MECÁNICO
PLANO%
%           DE ESLABONES FLEXIBLES - CONTROL DE OSCILACIONES
%*%
%
%
% ELABORADO POR:
%
%           RODAS LAVADO, YURI ALEXANDER
%
%
%
%
% ÚLTIMA ACTUALIZACIÓN:
%
%           15/07/19
%-----
%
%*****
%
%
%
% clc
% clear all
% close all
%
% FUNCIONALIDADES PARA VARIABLES SIMBÓLICAS
%
% syms th th1 th2 th11 th12 th21 th22 m11 m12 m21 t
% syms dth dth1 dth2 dth11 dth12 dth21 dth22
% syms ddth ddth1 ddth2 ddth11 ddth12 ddth21 ddth22
% syms C1 C2 C11 C12 C21 C22
% syms phi1 phi2 dtphi1 dtphi2
%
% DATOS REFERENCIALES
%
% m1 = 0.3; % [kg]
% m2 = 0.3; % [kg]
% I1 = 0.000008778; % [kgm^2]
% I2 = 0.000008778; % [kgm^2]
% I11 = 0.005051; % [kgm^2]
% I21 = 0.005051; % [kgm^2]
% l1 = 0.3; % [m]
% l2 = 0.3; % [m]
% E1I1 = 0.338; % [Nm^2]
```

```

E2I2 = 0.338; % [Nm^2]
C1 = 0.001; % [Ns/m]
C2 = 0.001; % [Ns/m]
C11 = 0.001; % [Ns/m]
C21 = 0.001; % [Ns/m]
C12 = 0.001; % [Ns/m]
C22 = 0.001; % [Ns/m]

%
%*****
*%
% DATOS DE LOS ÁNGULOS
%
alpha = th12 + th2 + th21;
beta = th12 + th2 + th21 + th22;
dtphi1 = dth1 + dth11;
dtphi2 = dtphi1 + dth12 + dth2 + dth21;
%
%*****
*%
%
% ELEMENTOS DE LA MATRIZ DE INERCIA
%
m11 = I1 + I2 + I11 + I21 + (m1 + m2)*l1^2 + m2*l2^2 + 2*(m2*l1*l2*cos
(alpha));
m12 = I2 + I21 + m2*l2^2 + m2*l1*l2*cos (alpha);
m13 = 1.5*(I2 + I11 + I21) + (m1 + m2)*l1^2 + 1.5*(m2*l2^2) +
2.5*(m2*l1*l2*cos (alpha));
m14 = 2*I21 + m2*l2^2 + m2*l1*l2*cos (alpha);
m15 = I2 + I21 + m2*l2^2;
m16 = I2;
m21 = m12;
m22 = I2 + I21 + m2*l2^2;
m23 = I2 + I21 + m2*l2^2 + m2*l1*l2*cos (alpha);
m24 = I2 + m2*l2^2;
m25 = I2 + I21 + m2*l2^2;
m26 = I2;
m31 = m13;
m32 = m23;
m33 = I2 + I11 + I21 + (m1 + m2)*l1^2 + m2*l2^2 + 2*(m2*l1*l2*cos
(alpha));
m34 = I2 + m2*l2^2 + m2*l1*l2*cos(alpha);
m35 = I2 + I11 + I21 + m2*l2^2 + m2*l1*l2*cos (beta);
m36 = I2;
m41 = m14;
m42 = m24;
m43 = m34;
m44 = I2 + m2*l2^2;
m45 = I2 + m2*l2^2;
m46 = I2;
m51 = m15;
m52 = m25;
m53 = m35;
m54 = m45;
m55 = I2 + I11 + I21 + m2*l2^2;
m56 = I2;
m61 = m16;
m62 = m26;

```

```

m63 = m36;
m64 = m46;
m65 = m56;
m66 = I2;

%
%*****
*%
%
% ELEMENTOS DEL VECTOR (H)
%
h1 = dth1/1000 + sin (th12 + th2 + th21)*((27*(dth1 + dth11) ^2)/1000 -
(27*(dth1 + dth2 + dth11 + dth12 + dth21) ^2)/1000);
h2 = dth2/1000 + (27*sin (th12 + th2 + th21)*(dth1 + dth11) ^2)/1000;
h3 = dth11 + (338*th11)/75 - (169*th12)/75 + (9*sin (th12 + th2 +
th21)*((3*dth2)/10 + (3*dth12)/10 + (3*dth21)/10)*(2*dth1 +
2*dth11 - (dth1 + dth11) ^2 + (dth1 + dth2 + dth11 + dth12 +
dth21) ^2))/100 + 9/100000;
h4 = (9*dth21)/100000 + (338*th21)/75 - (169*th22)/75 + (27*sin (th12 +
th2 + th21)*(dth1 + dth11) ^2)/1000;
h5 = (27*sin (th12 + th2 + th21)*dth1^2)/1000 + (9*dth12)/100000 -
(169*th11)/75 + (338*th12)/75;
h6 = (9*dth12)/100000 - (169*th21)/75 + (338*th22)/75;

%
%*****
*%
%
% ELEMENTOS DEL VECTOR (P)
%
p2 = 0;
p3 = (338*th11)/75 - (169*th12)/75;
p4 = (338*th21)/75 - (169*th22)/75;
p5 = (338*th12)/75 - (169*th11)/75;
p6 = (338*th22)/75 - (169*th21)/75;

%
%*****
*%
%
% MATRIZ DE INERCIA (MM)
%
MM = [m22,m23,m24,m25,m26;m32,m33,m34,m35,m36;m42,m43,m44,m45,m46;
m52, m53, m54, m55, m56; m62, m63, m64, m65, m66];

%
%*****
*%
%
% MATRIZ DE INERCIA (HH)
%
HH = {h1, h2, h3, h4, h5, h6};

%
%*****
*%

```

```

%
% MATRIZ DE COEFICIENTES (hh)
%
hh = [0,0,0,0,0,0,1,(0.0675*cos(th12 + th2 + th21) + ... -
4682540200004468635278859431663382872106030931991702011904000*cos(
th12 + th2 + th21 + th22) +
4634232687536384081661310515548136569227404413060545295164441)];
%
%*****
%
% DECIMALES INDICADOS EN DÍGITOS (hhv)
%
hhv = vpa (hh,7);
%
%*****
%
% SIMPLIFICA UNA EXPRESIÓN (hhs)
%
hhs = simplify(hhv);
%
%*****
%
% MATRIZ DE COEFICIENTES (gg)
%
gg =
[dth1,dth2,dth11,dth21,dth12,dth22,0,(463526054247126345777407454322
154270458284197314088140800000000*cos (th12 + th2 + th21 + th22) -
... - 4682540200004468635278859431663382872106030931991702011904000
*cos (th12 + th2 + th21 + th22) + 46342326875363840816613105155
48136569227404413060545295164441)];
%
%*****
%
% DECIMALES INDICADOS EN DÍGITOS (ggv)
%
ggv = vpa (gg,7);
%
%*****
%
% SIMPLIFICA UNA EXPRESIÓN (ggs)
%
ggs = simplify(ggv);
%
%*****
%
```

```

%
% DIFERENCIAL APROXIMADO EN LA MATRIZ (hh)
%
hhth1 = diff (hhs, th1);
hhth2 = diff (hhs, th2);
hhth11 = diff (hhs, th11);
hhth21 = diff (hhs, th21);
hhth12 = diff (hhs, th12);
hhth22 = diff (hhs, th22);
%
%*****
*%
%
% DERIVADO APROXIMADO EN LA MATRIZ (hh)
%
hhdth1 = diff (hhs, dth1);
hhdth2 = diff (hhs, dth2);
hhdth11 = diff (hhs, dth11);
hhdth21 = diff (hhs, dth21);
hhdth12 = diff (hhs, dth12);
hhdth22 = diff (hhs, dth22);
%
%*****
*%
%
% DIFERENCIAL APROXIMADO EN LA MATRIZ (gg)
%
ggth1 = diff (ggs, th1);
ggth2 = diff (ggs, th2);
ggth11 = diff (ggs, th11);
ggth21 = diff (ggs, th21);
ggth12 = diff (ggs, th12);
ggth22 = diff (ggs, th22);
%
%*****
*%
%
% DERIVADO APROXIMADO EN LA MATRIZ (gg)
%
ggdth1 = diff (ggs, dth1);
ggdth2 = diff (ggs, dth2);
ggdth11 = diff (ggs, dth11);
ggdth21 = diff (ggs, dth21);
ggdth12 = diff (ggs, dth12);
ggdth22 = diff (ggs, dth22);
%
%*****
*%
%
% MATRIZ DE VECTORES DE DIFERENCIAL Y DERIVADO APROXIMADO (hh) RESPECTO
AL
% TIEMPO
%
rH = [hhth1; hhth2; hhth11; hhth21; hhth12; hhth22; hhdth1; hhdth2;
      hhdth11; hhdth21; hhdth12; hhdth22];
%

```



```

%*****
%
%
% TRANSPOSICIÓN DE MATRIZ (hh)
%
rHt = [hhth1; hhth2; hhth11; hhth21; hhth12; hhth22; hhdth1; hhdth2;
       hhdth11; hhdth21; hhdth12; hhdth22].';
%
%*****
%
%
% MATRIZ DE VECTORES DE DIFERENCIAL Y DERIVADO APROXIMADO (gg) RESPECTO
AL
% TIEMPO
%
rG = [ggth1; ggth2; ggth11; ggth21; ggth12; ggth22; ggdth1; ggdth2;
      ggdth11; ggdth21; ggdth12; ggdth22];
%
%*****
%
%
% TRANSPOSICIÓN DE MATRIZ (gg)
%
rGt = [ggth1; ggth2; ggth11; ggth21; ggth12; ggth22; ggdth1; ggdth2;
      ggdth11; ggdth21; ggdth12; ggdth22].';
%
%*****
%
%
% CONVERSIÓN EN RADIANTES (rad)
%
rad = pi/180;
%
%*****
%
%
% TIEMPO FINAL DE CONTROL (Tf)
%
Tf = 2*pi; dt = Tf/100;
%
%*****
%
%
% VARIABLES PARA OBTENER LA FUNCIÓN DE DESEMPEÑO
%
Jnow=3; Jbef=0;
%
%*****
%
%
% OPTIMIZACIÓN DEL ALFA POR LOS TERMINOS DE FOURIER (myu)
%
myu = 0.01; ss = 1;
%
%*****
%
```

```

%
% MATRIZ DE PESOS (mm)
%
mm = [10,15,10,2,10,18,20,15,29,18,24,13];
%
%*****
%
%
% DIAGONAL DE LA MATRIZ DE PESOS (Dm)
%
Dm = diag (mm);
%
%*****
%
%
% MATRIZ DEL VECTOR (qq)
%
qq = [0, 0, 0, 0];
%
%*****
%
%
% DIAGONAL DE LA MATRIZ (Dq)
%
Dq = diag (qq);
%
%*****
%
%
% MATRIZ DEL VECTOR (rr)
%
rr = [1, 1, 1, 1, 1, 1];
%
%*****
%
%
%
% DIAGONAL DE LA MATRIZ (Dr)
%
Dr = diag (rr);
%
%*****
%
%
% VALOR DEL VECTOR DE POSICIÓN CON TODOS LOS ANGULOS (xxnow)
%
xxnow = [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0];
%
%*****
%
%
% VALOR DEL VECTOR DE POSICIÓN DESEADO (xxdes)
%
xxdes =[20*rad,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0];
%

```

```

%*****
%
% VALOR DE LA MATRIZ DEL VECTOR (Kalpha)
%
Kalpha = [0, 0, 0, 0, 0, 0];
%
%*****
%
% VALOR DE LA MATRIZ DE ELEMENTOS DE FOURIER (ON)
%
ON = [0, 0, 0, 0, 0, 0];
%
%*****
%
% TERMINOS DE LOS COEFICIENTES DE LA SERIE DE FOURIER (fou)
%
fou = [1/2,sin(1*t),cos(1*t),sin(2*t),cos(2*t),sin(3*t),cos(3*t)];
%
%*****
%
% INICIO DE LA CONDICIÓN (while)
%
while (Jbef-Jnow)*(Jbef-Jnow)>0.01
%
%*****
%
% PRIMER COEFICIENTE DE LA DERIVADA dth1 (alpha0)
%
alpha0 = (xxdes (7)- xxnow (7))/pi;
%
alpha = [alpha0, Kalpha];
%
%*****
%
'Se inicia lazo', ss
%
% VALOR INICIAL DE TIEMPO
%
t = 0;
%
%*****
%
% VECTOR DE POSICIÓN (xnow)
%
xnow = xxnow;
%
% DERIVADAS DEL VECTOR DE POSICIÓN (dxnow)
%
dxnow = [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0];
%

```

```

%*****
%
%
% VARIACIÓN DEL VECTOR DE POSICIÓN CON ALFA (Ynow)
%
Ynow = [ON;ON;ON;ON;ON;ON;ON;ON;ON;ON;ON;ON];
%
% DERIVADA DE LA VARIACIÓN DEL VECTOR DE POSICION CON ALFA (dYnow)
%
dYnow = [ON;ON;ON;ON;ON;ON;ON;ON;ON;ON;ON;ON];
%
%*****
%
%
% INICIO DE LA CONDICIÓN (for)
%
for i=0:1:99
%
%*****
%
%
% VARIABLE DE TIEMPO (t)
%
t = i*dt;
%
%*****
%
%
% TERMINOS DE LOS COEFICIENTES DE LA SERIE DE FOURIER (fou)
%
fou = [1/2,sin(1*t),cos(1*t),sin(2*t),cos(2*t),sin(3*t),cos(3*t)];
%
%*****
%
%
% ELEMENTOS DE LA SERIE DE FOURIER (kfoun)
%
kfoun=[sin(1*t),cos(1*t),sin(2*t),cos(2*t),sin(3*t),cos(3*t)];
%
%*****
%
%
% FUNCIÓN ACTUAL DE POSICION (unow)
%
unow = foun*alpha';
%
%*****
%
```

```

%
% VECTORES DE POSICIÓN DE LOS ANGULOS Y SUS DERIVADAS
%
th1 = xnow (1);
th2 = xnow (2);
th11 = xnow (3);
th21 = xnow (4);
th12 = xnow (5);
th22 = xnow (6);
dth1 = xnow (7);
dth2 = xnow (8);
dth11 = xnow (9);
dth21 = xnow (10);
dth12 = xnow (11);
dth22 = xnow (12);

%
%*****
%
%
% MATRIZ DE COEFICIENTES (hh)
%
hh = [0,0,0,0,0,0,1,(0.0675*cos(th12 + th2 + th21) + ... -
4682540200004468635278859431663382872106030931991702011904000*cos(
th12 + th2 + th21 + th22) +
4634232687536384081661310515548136569227404413060545295164441)];

%
%*****
%
%
% DECIMALES INDICADOS EN DÍGITOS (hhv)
%
hhv = vpa (hh,7);

%
%*****
%
%
% SIMPLIFICA UNA EXPRESIÓN (hhs)
%
hhs = simplify(hhv);

%
%*****
%
%
% MATRIZ DE COEFICIENTES (gg)

gg =
[dth1,dth2,dth11,dth21,dth12,dth22,0,(463526054247126345777407454322
15427045828419731408814080000000*cos (th12 + th2 + th21 + th22) -
... - 4682540200004468635278859431663382872106030931991702011904000
*cos (th12 + th2 + th21 + th22) + 46342326875363840816613105155
48136569227404413060545295164441)];

%
%*****
%

```

```

%
% DECIMALES INDICADOS EN DÍGITOS (ggv)
%
    ggv = vpa (gg,7);
%
%*****
*%
%
% SIMPLIFICA UNA EXPRESIÓN (ggs)
%
    ggs = simplify (ggv);
%
%*****
*%
%
% TRANSPOSICIÓN DE MATRIZ (gg)
%
    rGt;
%
%*****
*%
%
% TRANSPOSICIÓN DE MATRIZ (hh)
%
    rHt;
%
%*****
*%
%
% APLICANDO EL METODO DE EULER EN EL VECTOR DE POSICIÓN (xnow)
%
    xnow = xnow + dt * dxnow;
%
% DERIVADA DEL VECTOR DE POSICION CON TODOS LOS ANGULOS (dxnow)
%
    dxnow = hh.*unow + gg;
%
%*****
*%
%
% APLICANDO EL METODO DE EULER EN LA VARIACIÓN DEL VECTOR DE POSICION CON
    ALFA (Ynow)
%
    Ynow = Ynow+dYnow*dt;
%
% DERIVADA DE LA VARIACION DEL VECTOR DE POSICION CON ALFA (dxnow)
%
    dYnow =(rHt+rGt)*Ynow+hEn;
%
    hEn = [hh(1)*kfoun;hh(2)*kfoun;hh(3)*kfoun;hh(4)*kfoun;hh(5)*kfoun;
           hh(6)*kfoun;hh(7)*kfoun;hh(8)*kfoun;hh(9)*kfoun;hh(10)*kfoun;
           hh(11)*kfoun;hh(12)*kfoun];
%
%*****
*%

```

```

%
% INICIO DE LA CONDICIÓN (if)
%
if i==99
%
% POSICIONES Y ANGULOS FINALES (xlast)
%
xlast = xnow; Ama = Ynow;
%
%*****
*%
%
% CIERRE DE LA CONDICIÓN (if)
%
end
%
% CIERRE DE LA CONDICIÓN (for)
%
end
%
%*****
*%
%
% 'Lazo número', ss
%
% 'Posiciones y ángulos finales', xlast
%
%*****
*%
%
% FUNCIÓN DE DESEMPEÑO EN EL CONTROL ÓPTIMO
%
Jmn = (xlast-xxdes)*Dm*(xlast-xxdes)';
%
Jrn = Kalpha*Dr*Kalpha';
%
Jnow = Jmn + Jrn;
%
rJrn = Dr*Kalpha';
%
rJmn = [Ama]'*Dm*(xlast-xxdes)';
%
rJnow = rJmn + rJrn;
%
rrJrn = Dr;
%
rrJmn = [Ama].'*Dm*Ama;
%
rrJnow = rrJrn + rrJmn;
%
dnow = inv (rrJnow)*rJnow;
%
%*****
*%

```

```

%
% APLICANDO EL METODO DE NEWTON (Kalpha)
%
    Kalpha = Kalpha-myu*dnow';
%
%*****
*%
%
% ACTUALIZACIÓN DE NÚMEROS DE LAZOS (ss)
%
    ss = ss+1;
%
% CIERRE DE LA CONDICIÓN (while)
%
end
%
%% ( **                               FIN DEL PROGRAMA                               ** )
%*****
*%

```